

# xvz

éditée par l'AFT  
Association Française  
de Topographie

n°95



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

## Du vent dans les pales... Parc éolien des Corbières Maritimes



## Directeur de la publication

André Bailly  
Ingénieur Géomètre ETP

## Directeur adjoint de la publication

Emmanuel Natchitz  
Enseignant Chercheur ESTP

## Rédaction et administration XYZ

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

## Rédacteur en chef

Emmanuel Natchitz

## Comité de Rédaction

Pierre Grussenmeyer  
Maître de Conférences - ENSAIS  
Bertrand Ravez  
Responsable de service Topographique  
Bouygues TP

## Responsable du site internet

Tania Neusch

## Conseil d'orientation scientifique

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

## Publicité

Robert Chevalier

## Conception et maquette

Dorothée Picard

## Abonnements

Evelyn Mesnis

## Autre publication

L'annuaire de l'AFT

## IMPRIMERIE MODERNE USHA

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

## Dépot légal

1<sup>er</sup> trimestre 2003 ISSN 0290-9057  
N° CPPAP : 0903 G 80866

## Tirage de ce numéro : 2 500 ex

## Abonnement annuel

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

Le bulletin d'adhésion est en p. 68

Membre du SPCS Syndicat de la Presse  
Culturelle et Scientifique

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

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

Membre de la FIG (Fédération Internationale des Géomètres) 

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

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

## ■ Editorial ..... 5

## ■ Info-Topo

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

### > Compte rendu de l'Assemblée Générale 2002 de l'AFT ..... 17

### > La responsabilité des ingénieurs Wilfried GRUNAU ..... 18

### > Formation continue à l'utilisation des stations électroniques dans la construction Le pari gagnant de Rabot-Dutilleul ! Michel PRIMAULT ..... 20

### > Projet : "De l'eau à Invondrona" ..... 23

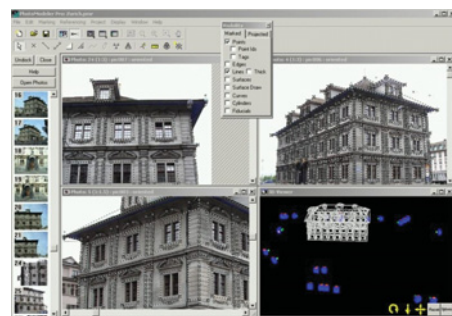
## ■ Manifestations

### > Le Congrès du 125<sup>e</sup> anniversaire de la FIG à l'ENSIG Michel KASSER ..... 24

### > 41<sup>e</sup> réunion du CGSIC (Comité d'Interface Civil GPS) Pascal WILLIS ..... 25

### > Du vent dans les pales... Dominique VINOT ..... 27

## ■ Photogrammétrie



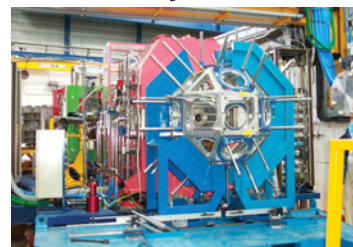
### > Photogrammétrie architecturale et modélisation 3D du patrimoine Pierre Grussenmeyer ..... 30

## ■ Topographie

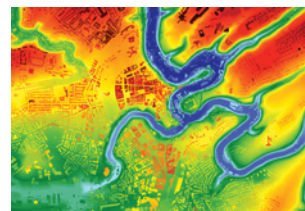


### > Histoire d'eau - Positionnement d'un siphon en surface Paul COURBON.. 37

## ■ Techniques nouvelles



### > Le système de mesure 3D portable à bras six axes dans la métrologie des accélérateurs de particules Rémy BEUNARD ..... 43



### > Cartographie à grande échelle en zone interdite : l'alternative des satellites à résolution métrique Lionel LAURE ..... 47

## ■ GPS

### > Géodésie géométrique ou géodésie physique Claude MILLON ..... 51

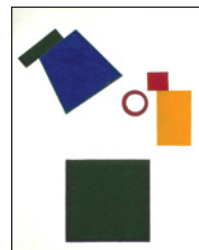
## ■ Histoire

### > Aux origines du cadastre général parcellaire français Pierre CLERGEOT ..... 57

## ■ GSF

### > Le point de vue d'une profession technique François BODIN ..... 63

## ■ Art et Géométrie



### > Malevitch : les couleurs de l'apesanteur Jean-Pierre MAILLARD... 64

## ■ Livres ..... 67

Pour la recherche de nos annonceurs  
consulter la page 67.

*La semaine professionnelle de la FIG est maintenant dernière nous.*

*La qualité des conférences et de l'exposition de matériels a été à la hauteur de ce que les géomètres et les topographes français pouvaient offrir de mieux à leurs collègues venus des quatre coins du monde ; Nous sommes fier d'avoir participé à cette opération. Mais la réussite de cette manifestation montre surtout la réussite de la collaboration entre l'AFT et l'Ordre des Géomètres Experts. Nos deux organisations ont parfaitement su se rassembler pour couvrir l'ensemble complet de l'activité professionnelle des géomètres topographes.*

*En restant attentif à son histoire et en anticipant les nouveaux besoins, le géomètre topographe encourage et favorise l'avènement de nouvelles techniques qui permettent de mieux représenter la géométrie du monde qui l'entoure. En outre, la rapidité et la facilité de la transmission des informations entre les différents partenaires internationaux aident considérablement l'avancement des recherches et des développements scientifiques.*

*Nos techniques de positionnement et de représentation sont ainsi de plus en plus fiables. Une partie grandissante de nos activités consiste alors à savoir gérer et mettre au service des usagers cette information géographique. Nos techniques se développent aussi bien que parce que nous avons su maîtriser leur utilisation.*

*La collaboration entre l'AFT et l'OGE reflète cette vision.*

*L'AFT a pour vocation de promouvoir les techniques de mesures et l'utilisation de la topographie "pure". Ces techniques sont utilisées comme outils par les Géomètres Experts dans leur quotidien. C'est en s'appuyant sur ce savoir technique essentiel qu'ils peuvent assurer les missions qui leurs sont confiées.*

*Le retour d'informations offert par les conférences qui nous ont été présentées montre l'étendue des champs de recherches menées actuellement. C'est dans cette perspective que l'AFT a créé le "Prix de l'AFT pour les Jeunes Ingénieurs Diplômés en TOPOGRAPHIE".*

*La remise du prix de la première session s'intégrait parfaitement dans ces journées dédiées à la topographie. Encore toutes nos félicitations aux deux premiers lauréats : Cyrille Maire et Jean Baptiste Henry.*

**Emmanuel NATCHITZ**  
Rédacteur en Chef



# La responsabilité des ingénieurs

■ par Wilfried Grunau, adaptation française Olivier Reis

Toute révolution technologique marque son époque et affecte profondément la conscience collective. Ce fut d'abord le cas de l'industrialisation, rendue possible par les progrès de la technique, puis vint l'ère de la mobilité humaine, ouvrant de nouvelles perspectives et engendrant des bouleversements importants, suivie par la révolution domestique touchant chaque foyer et enfin, aujourd'hui, le développement des nouvelles technologies de communication. C'est avec une évidente fascination que nous constatons les répercussions de ces évolutions successives sur notre quotidien, autant professionnel que privé, et elles sont pour nous une source d'espoir permettant d'envisager l'avenir avec un certain optimisme. La plupart d'entre nous estiment d'ailleurs que le progrès technique entraîne des conséquences largement positives et facilite notre existence. Cependant, un observateur attentif de l'essor fulgurant de ces nouvelles technologies et de l'enthousiasme pour la technique dont elles s'accompagnent n'aura pas manqué de noter la carence manifeste et contradictoire en techniciens spécialisés dans ces domaines de même que l'insuffisance des effectifs dans l'ensemble des filières scientifiques et techniques.

Le débat sur la puissance économique de l'Europe a dernièrement fait apparaître une quasi-unanimité sur le rôle central joué par la formation, la recherche et la technologie. Quelle que soit la manière dont on envisage la situation actuelle, il semble acquis que l'heure doit être à l'innovation et que cette impulsion doit s'accompagner d'une revalorisation de l'ensemble des métiers techniques. En Europe comme

dans le reste du monde, les compétences des ingénieurs en matière de "technique" comme de "savoir" leur permettent d'occuper une position enviable qu'il leur appartient non seulement de conserver mais également de renforcer. Au-delà d'une formule déjà galvaudée, le passage d'une société industrielle à une société de l'information et de la connaissance doit constituer un véritable défi que les ingénieurs, forts de leur foi en l'avenir, de leur créativité et de leur esprit visionnaire se doivent de relever.

La capacité à conserver et à renforcer les "connaissances" détenues décide en très grande partie de la réussite future d'une entreprise voire d'un pays donné. Une action de revalorisation est par conséquent à entreprendre dans le domaine de la formation, doublée d'un réexamen du contenu que l'on souhaite lui donner sans toutefois perdre de vue que le niveau de formation, au sens décrit par Humboldt, se mesure à la capacité d'un individu à étendre son propre savoir par l'acquisition de nouvelles connaissances. Et certains pays, dont l'Allemagne, vont avoir à déployer des efforts conséquents pour parvenir à remplir durablement les conditions requises dans ce cadre, comme l'enquête PISA (programme pour le suivi des acquis des élèves) l'a clairement mis en évidence.

Souvenons-nous cependant que tout ce qui est faisable n'est pas nécessairement souhaitable. Toute technique porte en elle le germe d'applications néfastes, immorales ou préjudiciables. Et n'oublions pas que le risque et l'incertitude sont les plus sûrs compagnons de route des sciences et des techniques. Il ne doit y avoir aucun doute : toute atteinte à la dignité

humaine doit être bannie au nom des principes moraux qui nous guident.

Il est également de notre responsabilité d'éviter toute dérive et d'apprendre à nous accommoder d'incertitudes et de risques. Mais cela suppose le développement de compétences et le renforcement d'aptitudes par exemple dans le domaine de l'expression de notre pensée, pour expliquer certaines notions avec davantage de précision ou pour susciter des débats de fond. La conséquence à en tirer est simple : une très forte impulsion doit être donnée à l'enseignement, lequel doit être plus approfondi et plus étendu.

L'enseignement, comme l'a récemment souligné le président de la République fédérale d'Allemagne, Johannes Rau, doit non seulement être remis à l'ordre du jour, en prévision des défis qui nous attendent, mais doit également y occuper la meilleure place. Et il ne doit pas être à l'ordre du jour de celles et ceux qui en parlent et en débattent mais à l'ordre du jour de celles et ceux qui en décident et agissent en conséquence.

L'emprise de la rationalité scientifique est plus forte dans le monde d'aujourd'hui qu'à aucune autre époque. Aucun responsable politique ne se hasarderait à prendre la moindre décision d'une certaine importance sans avoir au préalable consulté les autorités scientifiques compétentes en la matière. Aucune entreprise de taille respectable ne peut escompter s'imposer sur le marché sans un investissement conséquent dans la recherche et aucun individu ne peut plus se permettre de ne rien entreprendre pour sa propre formation.

Des décisions de cette nature doivent

## L'Association des ingénieurs géomètres topographes allemands ( VDV : Verband Deutscher Vermessungsingenieure)

Fondée en 1949 et forte de plus de 6 000 membres, l'Association des ingénieurs géomètres topographes allemands (Verband Deutscher Vermessungsingenieure, VDV) constitue le principal mouvement représentatif des ingénieurs allemands diplômés en topographie et en géomatique et défend à ce titre les intérêts de ses membres. Elle s'est assignée pour objectifs de participer activement à la constante adaptation de l'ensemble des métiers de la topographie à l'évolution de la société, de promouvoir la formation continue de ses membres et de représenter l'ensemble de leurs intérêts auprès des pouvoirs publics comme de toute autre organisation. La publication bimestrielle de l'association intitulée "Der Vermessungsingenieur - Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation" (L'ingénieur géomètre topographe – revue de topographie et de géomatique) jouit d'une réputation s'étendant bien au-delà des frontières de l'Allemagne et son ambition est d'apporter une information claire, concrète et détaillée au lecteur, de

nature à lui faciliter l'exercice de sa profession. L'association entend également relever les défis inhérents à la construction européenne puisque la politique d'harmonisation au sein de l'Union n'est pas sans conséquence sur le domaine topographique, touchant l'ensemble du secteur des prestations de services mais également la formation et la reconnaissance mutuelle des diplômes de l'enseignement supérieur. Ainsi, le fait que les cursus de formation des différents pays de l'Union soient difficilement comparables peut-il constituer un handicap pour un ingénieur géomètre topographe désireux d'exercer son activité hors des frontières de son pays d'origine. L'élaboration d'une grille d'évaluation qualitative de la formation et de l'expérience professionnelle adoptée au plan européen de même que l'établissement d'une nomenclature unifiée constituent désormais des objectifs prioritaires à l'atteinte desquels le VDV apporte sa contribution en participant aux organisations créées au sein de l'Union européenne.

cependant reposer sur des critères d'ordre moral. Il existe des visions différentes de ce qui est bon pour les hommes et de la manière dont leur coexistence doit s'organiser. Il convient donc de déceler les conflits sociaux, les divergences d'intérêts et les oppositions pour les jauger et définir des priorités quant à leur importance. Mais sans formation, rien de tout cela n'est possible.

Certains pays européens sont en proie à des difficultés économiques si graves que seules de profondes réformes permettraient à leurs habitants de retrouver une partie de la sérénité actuellement disparue. Mais les sociétés et les classes politiques concernées sont-elles seulement prêtes à accepter de telles réformes ? Et pourtant, la condition sine qua non de la réussite de ces réformes tient en une simple phrase : la réouverture du marché du travail aux règles de la concurrence pour le libérer de l'excès de réglementation qui l'asphyxie. Cet objectif est atteignable. Laissons plus de marges de manœuvre à l'économie de marché et débarrassons-nous de tout sentiment d'envie ou de jalousie.

La prospérité de l'Europe occidentale et

la liberté dont jouissent ses habitants sont en fait tributaires de la réussite économique des entreprises européennes sur le marché mondial. Ce succès n'est envisageable et ne peut perdurer que si notre rendement, notre efficacité et notre solidité restent à un niveau optimal. Œuvrer en ce sens constituera l'un des objectifs prioritaires de l'Union européenne élargie, tant au plan politique que social. Dans le cadre de l'européanisation et plus encore de la mondialisation, les ingénieurs se doivent de réagir rapidement et avec souplesse aux bouleversements structurels constants et éprouvent ainsi leurs capacités d'adaptation. Cela requiert toutefois de bénéficier d'un environnement politique et économique favorable, tâche à laquelle les associations d'ingénieurs doivent désormais s'atteler. Se lamenter n'est d'aucun secours, seules des actions fortes nous permettront de sortir de l'ornière.

En son temps, le philosophe romain Sénèque écrit : *"Ce n'est pas parce que les choses sont difficiles que nous n'osons pas, c'est parce que nous n'osons pas qu'elles sont difficiles"*.

Alors attelons-nous à la tâche sans plus tarder ! ●



**Wilfried Grunau**, ingénieur diplômé, est président de l'association des ingénieurs géomètres topographes allemands "Verband Deutscher Vermessungsingenieure, VDV" et fut l'un des co-initiateurs de l'"European Group of Surveyors (EGoS)", une organisation faîtière visant à regrouper des associations d'ingénieurs des domaines de la topographie et du génie civil en Europe. W. Grunau a été président de l'EGoS de 1994 à 1998.

# Formation continue à l'utilisation des stations électroniques dans la construction

## Le pari gagnant de Rabot-Dutilleul !

■ Michel PRIMAULT - Responsable régional des ventes - Bornes Feno

*Les impératifs de qualité, et notamment ceux liés aux tolérances de fabrication, d'assemblage et d'implantation, font que les chantiers modernes de construction sont de plus en plus tributaires de la topographie. La difficulté réside dans le fait que ces besoins, souvent courts mais fréquents, exigent un délai d'intervention très rapide. De plus, ils sont difficilement planifiables compte tenu des aléas des chantiers. En face de ces contraintes, se pose alors clairement le problème du maintien à disposition d'une équipe topographique. Une des réponses possibles consiste à former le personnel d'encadrement à l'utilisation des instruments et méthodes modernes. C'est le choix qu'a fait l'entreprise Rabot-Dutilleul.*

**L**e monde de la construction en général, et celui du bâtiment en particulier, n'a pas échappé à la petite révolution qu'a représenté l'avènement de l'informatique dans la vie de l'entreprise. Après l'inévitable et habituelle informatisation des services administratifs, comptables, etc., puis des services d'études avec l'essor de la DAO, celle des chantiers, et en particulier des applications topographiques qui leur sont liées, en est l'aboutissement logique.

D'autre part, les exigences croissantes en matière de délai et de qualité sur les chantiers, le resserrement des tolérances de fabrication, ainsi que la complexité croissante des travaux de mise en œuvre ont rendu indispensable le recours à des moyens topographiques précis, rapides, et faisant appel à un traitement par coordonnées rectangulaires.

En conséquence, sur maints chantiers, il est devenu indispensable d'assurer une "présence topographique" qui, à défaut d'être permanente, puisse avoir un temps de réponse très court afin de ne pas être à l'origine d'interruptions dans la production.

Dès lors, trois solutions sont envisageables :

- Soit s'assurer le concours d'une ou plusieurs équipes de

spécialistes louées à des cabinets de géomètres, solution forcément excellente d'un point de vue qualitatif et bien adaptée aux très gros chantiers, mais pas toujours envisageable, dès lors que le besoin n'en est pas permanent, car se pose alors le problème crucial du délai d'intervention et de ses conséquences sur le planning.

- Soit disposer d'un ou plusieurs topographes "maison", avec sensiblement les mêmes inconvénients dans le cas de besoins fréquents mais intermittents.
- Soit envisager la formation d'un certain nombre de personnes de l'encadrement à la pratique des méthodes et matériels topographiques, de manière à pouvoir, à tout moment, disposer de la compétence nécessaire. Le simple usage du niveau à lunette ou à laser, en général déjà bien assimilé, ne suffisant plus il faut alors se tourner vers la mesure moderne d'angles et de distances et donc vers les stations électroniques.

Cette dernière solution n'est peut-être pas la plus courante ni la plus facile à mettre en place d'emblée, mais c'est pourtant celle qu'ont retenue les dirigeants de l'Entreprise Rabot-Dutilleul et cela dès 1995, faisant alors figure de précurseurs.

### Profil de l'entreprise

Rabot-Dutilleul est un groupe indépendant, créé par Henri Rabot et Barthélemy Dutilleul en 1920, et devenu leader régional dans la construction en rassemblant, au travers de ses filiales, l'ensemble des activités de ce secteur.

Sa force repose aussi sur sa souplesse géographique : implantations dans le Nord, en Ile de France, en Belgique, Pologne, Tchéquie, Moyen Orient.

Le groupe emploie environ 700 collaborateurs pour un CA de 168 millions d'euros. Le bâtiment représente 74 % de l'activité du groupe.

### Premiers contacts

En juin 1995, à l'initiative de Monsieur Régis Pettier directeur des travaux, la décision fut prise de se lancer dans l'aventure



en faisant l'acquisition d'un premier exemplaire de station électronique.

Le tachéomètre Leica TC600, fut sélectionné, sur conseil des Ets Catry Topographie, pour sa simplicité d'utilisation et ses possibilités intéressantes pour l'usage envisagé. Trois autres suivirent d'ailleurs très rapidement en septembre et octobre. Ce premier galop d'essai étant fait pour familiariser en douceur les collaborateurs concernés, les instruments n'étaient alors utilisés qu'à de simples déterminations d'angles droits et de distances et donc bien en deçà de leurs possibilités.

## Le grand saut !

La deuxième phase allait consister à réaliser le raccord entre le bureau d'études de l'entreprise et les chantiers en passant à la vitesse supérieure, en évoluant naturellement vers l'utilisation des coordonnées rectangulaires directement chargées dans les TC600.

Du côté BE, le problème fut assez vite résolu par le développement du programme nécessaire pour générer les fichiers XY' depuis le logiciel de DAO utilisé et par l'utilisation des programmes utilitaires fournis par Leica. A ce stade par contre, il devenait impératif de penser à la formation des utilisateurs. Des contacts furent donc pris avec l'IUT de Béthune par Madame Annick Farcy, responsable de la formation et de la communication au sein de Rabot Dutilleul, en particulier avec Monsieur Jean-Yves Henry professeur de topographie, et aboutirent à la mise en place d'un programme de stage répondant à cette demande très ciblée. Compte tenu de ma position technico-commerciale chez Leica à l'époque et, par conséquent, de ma bonne connaissance du type d'instrument concerné, il me fut proposé d'y participer.

Mon rôle consisterait alors à rédiger des fiches pratiques à la portée des utilisateurs et à faire équipe avec Monsieur Henry pour toute la partie description et manipulation des instru-

(1) Par sécurité, il fut décidé que les déterminations en Z continueraient à faire l'objet d'un traitement classique par nivellement direct au niveau à lunette ou au laser.

ments, que ce soit en salle ou sur le terrain. J'acceptai avec enthousiasme cette proposition.

## Le programme des stages

Il va de soi qu'il n'était nullement question de prétendre former des géomètres à partir des stagiaires qui allaient nous être confiés, mais seulement de leur inculquer tous les rudiments nécessaires à la bonne utilisation des outils mis à leur disposition, dans le strict cadre des besoins spécifiques rencontré sur les chantiers de l'entreprise; à fortiori compte tenu du temps limité qui nous serait imparti, d'une part, et d'un public de formations initiales diverses, d'autre part.

D'un point de vue pratique, le but à atteindre était, à partir des coordonnées chargées dans les TC600 par le bureau d'Etudes ou le conducteur de travaux, que les stagiaires soient capables de réaliser les opérations les plus courantes d'implantation sur leurs chantiers. Accessoirement et pour ceux qui assimileraient le mieux nous pouvions espérer aller jusqu'à l'emploi de la "Station libre".

Fort de ces considérations, un programme de trois jours fut alors élaboré sous la forme suivante :

### 1<sup>er</sup> jour - Théorie

- Rappel de mathématiques et trigonométrie élémentaire.
- Notions de coordonnées cartésiennes, gisement et distance, et leurs applications en topo de chantier.
- Exercices de calcul portant notamment sur les deux problèmes fondamentaux : calcul d'un point en XY à partir des gisement et distance et calcul inverse.

### 2<sup>e</sup> jour, le lendemain même

- Description et fonctionnement du théodolite et du distance-mètre, méthode de mise en station, principe de mesure des angles et distances.
- La station électronique et son emploi, description et utilité des programmes.
- Premier contact physique avec le TC600, son clavier, ses menus, etc.



Stage de juin 2001

- ■ ■ - Sortie et travaux pratiques sur le terrain, mise en station, mesures simples d'angles et distances. Lever d'un réseau de points en XY à utiliser ensuite comme base de travail pour les programmes "Mise en station", "Orientation", "Implantation" et "Distances entre points".
- Retour en salle et transfert des données sur PC.
- Questions diverses.

### 3<sup>e</sup> jour, entre 3 et 8 jours plus tard

- Rappel des notions déjà acquises et questions diverses.
- Chargement, à partir du PC, du réseau de points XY, levés précédemment, dans les TC600 à notre disposition.
- Travaux pratiques sur le terrain, en particulier avec les programmes déjà traités.
- Extension vers les programmes de "Station libre", "Ligne de référence" (implantation de "chaises" et alignements, déports en long et en large), "Hauteurs inaccessibles" et "Calcul de surface".
- Retour en salle, questions diverses et synthèse du stage.

Nombre de stagiaires : entre 5 et 10 personnes.

Matériel utilisé : en principe, les instruments de l'entreprise complétés éventuellement par du matériel loué aux Ets Catry, de manière à disposer d'un TC600 pour 2 ou 3 stagiaires maximum.

## Le premier stage

Le tout premier jour fut l'occasion pour Jean-Yves Henry de prendre pleinement conscience de l'ampleur de la tâche compte tenu de la disparité des connaissances des stagiaires. Certains avaient, en raison de leurs études, d'assez bonnes notions de topographie de chantier tandis que d'autres n'étaient pas allés au-delà du report de hauteur au niveau à lunette. Par contre, tous "en voulaient".

Je ne devais intervenir qu'à partir du second jour, qui commença d'ailleurs pour moi par une bonne séance de course contre la montre, afin de remettre à niveau le logiciel des 2/3 des instruments disponibles. En effet, de grandes améliorations avaient été développées entre-temps par Leica dans les programmes du TC600 et il n'était évidemment pas question de démarrer cette formation avec deux modes opératoires partiellement différents, d'autant que les améliorations apportées par la nouvelle version étaient très sensibles. Je m'y attelai donc sans tarder et réussis à mettre à jour les deux ou trois instruments concernés pendant que Jean-Yves attaquait seul la première partie du programme.

Lorsque nous avons commencé à entrer dans le vif du sujet, à savoir l'utilisation du TC600, et, en particulier, quand nous avons expliqué à notre auditoire que les notions de maths et les calculs en coordonnées qui les avaient parfois fait souffrir la veille seraient dorénavant pris en charge par l'instrument, les visages s'éclairèrent dans une sorte de soulagement quasi-général.

A partir de là, nous nous efforçâmes de faire toute la formation avec une approche didactique la plus concrète et la plus réaliste possible afin de rester en prise avec les réalités du chantier et avec l'attente de notre auditoire.

## Les résultats

D'après les retours d'information que nous avons pu avoir, il semble que pratiquement tous les stagiaires ont continué à utiliser le TC600, dont ils sont devenus inséparables, les plus à l'aise se servant d'ailleurs, régulièrement et sans difficulté, du programme "Station libre".

Par la suite, chaque fois qu'un instrument était immobilisé (pour révision, accident ou panne) l'utilisateur concerné se retrouvait quasi-orphelin dans l'attente de son retour ou d'une solution de dépannage.

Dès lors, il semblait donc bien que nous avions rempli notre contrat. D'ailleurs, l'entreprise Rabot-Dutilleul continua à s'équiper par l'acquisition d'un parc d'une dizaine de TC600 au total.

Plusieurs stages furent nécessaires pour former tous les gens concernés au fur et à mesure des acquisitions, y compris les conducteurs de travaux, pour leur « culture technique » puisque peu concernés en pratique.

## La situation actuelle

Entre-temps, la politique d'évolution de Rabot Dutilleul s'est poursuivie par la dotation des chantiers en PC portables, permettant entre autres l'échange des données sans dépendre nécessairement du bureau d'études.

Depuis, le TC600, ayant disparu du catalogue Leica, c'est donc avec le modèle TC307 de la nouvelle série TPS300 que Rabot-Dutilleul poursuit ses acquisitions, pour l'équipement des nouveaux utilisateurs ou en cas de renouvellement. (15 instruments en service à ce jour). Nous avons donc dû adapter les stages récents à cette nouvelle exigence.

## Conclusion

Après une expérience de huit ans en la matière, il est évident que Rabot-Dutilleul a su gagner son pari et nous sommes heureux, Jean-Yves Henry et moi-même, d'y avoir contribué dans la mesure de nos moyens. ●

## Contact



### Rabot Dutilleul Construction

10, Avenue de Flandre BP 100

59442 Lille Wasquehal CEDEX

Tél. : 33. (0) 3.20 81 53 53

Fax : 33. (0) 3.20 81 53 54

Site web : <http://www.rabotdutilleul.com>

E-mail : [contact@rabotdutilleul.com](mailto:contact@rabotdutilleul.com)

### Jean-Yves Henry

IUT de Béthune - Département Génie Civil

1230 rue de l'Université - BP 819

62408 Béthune CEDEX

Tél. 06 22 43 14 10

[jy.henry@wanadoo.fr](mailto:jy.henry@wanadoo.fr)



# Projet : "De l'eau à Invondrona"

*L'association ESGT International est née cette année et réalise par le projet : "De l'eau à Invondrona" sa première année d'exercice. Cette association a été créée par un groupe d'étudiants de l'Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes dans le but de mettre nos connaissances acquises au sein de notre formation au service de projets à caractère humanitaire. Dans ce cadre, notre association participera en collaboration avec l'association IDEES (Ingénieurs pour le Développement Et les Echanges) au projet d'adduction d'eau potable d'Invondrona.*

**I**nvondrona est un village appartenant à la commune de Alakamisy-Ambohimaha, qui se trouve dans le sud-est de Madagascar à 450 km au sud d'Antananarivo (la capitale du pays). Cette commune est située dans les hautes terres, à une altitude de 1 150 m et compte 370 habitants dans une région montagneuse. Ce projet revêt une importance sanitaire de premier plan. Afin de remédier à leurs besoins quotidiens, les habitants de ces villages récupèrent l'eau des rizières ainsi que l'eau de pluie. Cette eau devenant stagnante est propice au développement de bactéries et de maladies. L'eau est à l'origine de nombreuses maladies et le manque d'eau potable empêche les habitants de se soigner, ce qui entraîne des épidémies de choléra, bilharziose... A l'heure actuelle, les villageois n'accèdent à l'eau que par les rivières irriguant les rizières, ces rivières étant parfois à plusieurs centaines de mètres des habitations, et surtout l'eau qu'ils y puisent est loin d'être potable.

Les enfants sont les plus vulnérables face à ces carences, la mortalité infantile atteignant 93 %. En outre, la population, d'une manière générale, dispose d'une espérance de vie de 52 ans.

Devant ce constat inquiétant, et sur demande des villageois, l'association IDEES a décidé de concentrer ses efforts dans la construction d'un réseau d'alimentation en eau potable du village, et s'est adressée à nous par l'intermédiaire de GSF (Géomètres Sans Frontières) pour la réalisation de toutes les études topographiques préalables et de suivi du projet. Pour atteindre un tel objectif, l'intervention de géomètres topo-

graphes est nécessaire. Les travaux ne peuvent débuter sans la réalisation de plans d'état des lieux et sans la réalisation de profils permettant de définir le tracé des canalisations. De plus, les travaux d'adduction d'eau se doivent d'être cartographiés une fois réalisés pour permettre le suivi et la pérennisation du réseau au cours du temps. L'eau acheminée à ces villageois sera garantie potable par l'institut Pasteur et rentrera dans les critères fixés par l'OMS.

Notre projet s'inspire des méthodes professionnelles et repose sur l'expérience acquise au cours de différents stages ainsi que sur notre formation scolaire, mais aussi sur l'expérience du terrain d'un membre de GSF, ayant déjà réalisé une mission sur place. En effet, au cours de notre cursus d'élève ingénieur nous avons été confrontés à de nombreuses situations professionnelles, la gestion de projets de cette envergure n'est donc pas une découverte, mais au contraire s'intègre parfaitement dans la suite logique de notre formation.

Sur place, l'équipe de ESGT International sera composée de 4 élèves de l'ESGT : Alice Nail, Florent Dessens, Pierre Rodriguez et Frédéric Durando, plus un membre de GSF qui nous accompagnera durant une partie seulement de la mission. Ce dernier ayant participé à la mission précédente bénéficie d'une connaissance du terrain qui fait de lui un atout pour l'équipe.

La motivation qui anime l'équipe est réelle, depuis maintenant 8 mois, chaque membre de l'équipe s'affaire à résoudre tous les problèmes inhérents à ce type de projet : mise en place des contacts,

recherche de partenaires locaux, recherche des meilleurs tarifs pour le transport, problèmes de formalités administratives liés à notre présence sur le sol malgache..., et bien entendu la recherche de sponsors. Car une telle mission a un coût qui reste élevé. Ainsi notre budget s'élève à 9 596 euros. Mais dès à présent cette grande famille qu'est l'ordre des géomètres se mobilise, ainsi lors de notre participation au dernier congrès de la Fédération Internationale des Géomètres, quelques entreprises nous ont tendu la main, et nous les remercions de tout cœur pour la confiance qu'elles nous portent.

De plus, au-delà de l'appui technique que nous allons apporter à la réalisation du projet, il est certain, et nous rejoignons là le point de vue d'IDEES, que la finalité de ce projet sera atteinte lorsque les villageois d'Invondrona profiteront pleinement des bienfaits de l'accès à l'eau potable : allongement de l'espérance de vie, baisse de la mortalité infantile, une meilleure protection contre les épidémies...

Il est certain qu'un projet de ce type se doit être accompagné de différentes actions de sensibilisation et de communication. Ainsi tout au long de la mission, l'équipe d'ESGT International réalisera des reportages photographiques qui suivront différents thèmes : l'aspect technique, la culture malgache, le quotidien des habitants, le milieu naturel... Ces reportages photographiques feront l'objet de différentes expositions au retour de la mission, permettant ainsi de sensibiliser le public à notre action. Dans un cadre plus pédagogique, nous avons l'intention d'intervenir auprès des lycéens pour toucher au plus près une population susceptible d'élaborer des projets similaires, valorisant ainsi la profession qui nous unit tous : Géomètre Topographe.

**Pour plus d'informations, n'hésitez pas à prendre contact avec nous :  
ESGT International,  
1 Bd Pythagore, 72 000 Le Mans. Email :  
esgtinternational@hotmail.com**

## Le Congrès du 125<sup>e</sup> anniversaire de la FIG à l'ENSG

■ Michel KASSER

C'est au Congrès FIG de Washington, en mai 2002, que la décision d'organiser le Congrès de la FIG à Paris a été prise. Il faut à cet égard rappeler que la France s'était portée candidate en 1998, au Congrès FIG de Brighton, pour l'organisation de cet événement, marquant ainsi le retour de notre pays sur le devant de la scène de la FIG après de nombreuses années de dysfonctionnements marqués de notre représentation. Mais à cette époque, la candidature d'Israël avait été préférée à la nôtre : les délégués avaient logiquement préféré un pays nouvellement arrivé, dans une zone géographique hors de l'Europe. Le fait que la situation en Israël l'ait conduit à déclarer forfait en 2002 nous a certes remis en position pour re-proposer notre candidature, mais la situation était fort différente de celle de Brighton : au lieu de 5 ans pour nous préparer, il ne restait que 11 mois. Nous avons considéré que c'était un véritable challenge, qui ne mettait que plus de piquant dans l'affaire, et que nous avions finalement l'occasion de mettre encore plus en avant notre pays, précisément compte tenu de la faiblesse du délai.

Dès le mois de Juin, une organisation a donc été mise en place et approuvée par les deux associations invitantes, AFT et OGE. La recherche des locaux adaptés nous a rapidement conduits sur l'ENSG (et donc sur une période de congés scolaires), ce qui a conduit à son tour l'IGN à être co-organisateur. Le comité d'organisation a ainsi été composé de B. Bour, Président et géomètre, avec deux adjoints, M. Mayoud (AFT) et moi-même. En outre nous avons eu l'appoint de quelques autres personnes extrêmement actives, en particulier de A. Bailly (AFT) et E. Beddock (OGE) pour l'exposition, de J.-L. Dargère (OGE) comme trésorier, et de J. Godfroid, secrétaire général de l'OGE.

L'OGE a souhaité que le gala se tienne à Versailles, cadre prestigieux entre tous, et particulièrement adapté à cet anniversaire : c'est en effet à Paris, il y a 125 ans, que la FIG avait été créée. Nous avons ainsi planté un décor de tout premier

plan, mais nous ne pouvions faire beaucoup plus : et malheureusement la situation mondiale s'est, en quelques mois, considérablement dégradée. Les bruits de bottes insistants, puis la guerre, ont entraîné une mauvaise situation économique que tous ont bien pu voir, faisant chuter de façon considérable les recettes de sponsoring et d'exposants. Ils ont en outre dissuadé pas mal de personnes de venir, sans doute plusieurs centaines si l'on s'en tient aux comparaisons avec les affluences aux précédents Congrès de la FIG tenus en Europe. Et pour couronner le tout, la pneumopathie atypique est tombée quelques semaines avant le démarrage, entraînant pas mal d'annulations du côté de l'Asie et du Canada.

A la fin, les participants ont tout de même été au nombre de 600 (dont 220 français, incluant 70 étudiants des écoles d'ingénieurs) + 200 accompagnants, venant de 65 pays. La participation française a donc été faible : les français se sont très peu sentis concernés, il ne s'agit pas là que d'un problème de période de vacances, mais d'un vrai problème de fond, sur lequel nous devons réfléchir dans les prochaines années.

Les locaux de l'ENSG se sont avérés parfaitement adaptés à l'organisation d'un Congrès important, c'est d'ailleurs probablement la première fois qu'ils sont utilisés ainsi à leur pleine capacité. L'ensemble Amphi Cauchy + entrée de l'amphi + salle polyvalente forme un dispositif extrêmement intéressant, l'entrée servant aux expositions de posters, et la salle polyvalente de zone de restauration (pauses café, obligeant ainsi les participants à passer dans les zones de posters, et repas de midi améliorés en parallèle avec la cantine normale). Enfin, comme cela a déjà été réalisé assez souvent, le hall d'entrée permet d'abriter l'exposition. Par ailleurs, comme il n'y avait que peu d'élèves durant le Congrès (c'était le cas, à cause des congés de Pâques), on a pu offrir de très nombreuses salles de travail aux congressistes (cette fois-ci nous avons employé 10 salles de classe pour les travaux des commissions), ainsi que



quatre grandes salles pour les conférences techniques, et aussi des accès en libre service aux salles informatiques, ce qui a été très apprécié. La traduction simultanée a été proposée systématiquement entre le Français et l'Anglais. Et, profitant de la venue de géomètres de tous les coins de France, pour la première fois le Conseil Supérieur de l'OGE s'est tenu dans des locaux de l'IGN, le 15 avril 2003 à l'ENSG.

L'exposition a bien fonctionné mais est restée assez réduite, compte tenu de la situation internationale et du faible préavis donné aux fournisseurs de notre marché professionnel. Il faut voir ici aussi une conséquence de l'extrême morcellement des événements en information géographique en France, qui complique pas mal la vie des exposants.

Au total, les participants semblent avoir été tout à fait satisfaits, la météo a été magnifique et les différents commentaires reçus jusqu'ici ont dans l'ensemble été excellents, l'AFT a en particulier reçu une lettre de compliments particulièrement chaleureux par le Président de la FIG. La soirée à Versailles a réuni 471 personnes, et c'est une soirée dont les participants se souviendront longtemps : entrée directe dans la cour du Château avec nos véhicules, apéritif dans la Galerie de Pierre, visite privée du Château au coucher de soleil, repas somptueux dans la Galerie des Batailles, avec un service et une cuisine du meilleur niveau... Et nous avons donc profité de la présence de nombreux confrères sur le site, le 16 avril, pour tenir notre Assemblée Générale de l'AFT. Mais ceci est une autre histoire... Rendez-vous dans 25 ans ? ●

LE CD rom des actes des conférences est disponible sur demande au secrétariat de l'AFT.

# 41<sup>e</sup> réunion du CGSIC (Comité d'Interface Civil GPS) Arlington, USA du 19 au 20 mars 2003

■ **Pascal WILLIS, IGN/JPL, point de contact français au CGSIC**

*Comme tous les ans, le Comité d'Interface Civil GPS a tenu sa réunion à Arlington (Virginie) sur la côte est des Etats-Unis du 19 au 20 mars 2003. Ce comité se réunit deux fois par an : une fois au printemps sur la côte est des Etats-Unis et une fois à l'automne sur la côte ouest. Le plus souvent cette deuxième réunion se tient en conjonction avec le congrès de l'institut américain de navigation (ION). Le but de ce comité est double : d'une part informer la communauté civile du GPS des développements techniques et politiques à court et moyen terme du GPS et d'autre part de recueillir un retour de la part des utilisateurs civils du système.*

Une description détaillée de la composition de ce groupe et de ses objectifs peut être trouvée sur le site Web suivant : <http://www.navcen.uscg.gov>. On peut aussi y consulter une copie de toutes les présentations. La réunion du printemps 2003 a été très perturbée par le contexte politique international lié à la guerre en Irak. Environ 60 participants avaient fait le déplacement pour environ une centaine de pré-inscriptions. En particulier certaines questions liées aux dégradations éventuelles locales du GPS dans les zones de conflit n'ont pas eu de réponse directe. Toutefois, on pourra se reporter à la position officielle du GPS disponible sur le site du CGSIC.

## Développement actuel du système GPS

Le système GPS possède actuellement 27 satellites opérationnels (Werschky) : 3 GPS II, 17 GPS-IIA, 7 GPS IIR. La constellation GPS est une constellation vieillissante car 6 satellites ont déjà dépassé leur durée de vie nominale. Il a été rappelé que les spécifications ont été établies pour 21 satellites + 3 satellites de secours actifs. Il semble que le DoD cherche à faire financer ce surcoût par la communauté civile US suivant un processus encore à définir. Les performances actuelles du GPS sont de 2 à 10 m en mode isolé et de 0,5 à 3 m en mode WAAS. Ces performances ainsiquel'intégrité des résultats GPS pour-

raient être dégradées par une diminution du nombre de satellites GPS, sauf, si les spécifications de l'ICD GPS-200 sont modifiées sous la pression de la communauté civile du GPS. La décision sur le nombre de satellites GPS à maintenir dans la constellation sera prise en 2003.

Le document FRNP (Federal Radio-Navigation Plan) 2003 est en préparation et sera validé et publié avant fin 2003 (M. Shaw). Ce document est mis à jour tous les 2 ans et décrit la politique US concernant les systèmes de radio-navigation. Une première version de ce document sera disponible début avril 2003 (J. Augustine). Elle sera disponible sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.navcen.uscg.gov> et [www.igeb.gov](http://www.igeb.gov). Il est possible d'envoyer des commentaires et suggestions à l'adresse e-mail suivante : [FRPinputs@ast.dot.gov](mailto:FRPinputs@ast.dot.gov). Pour le système LORAN-C une décision devrait être prise avant fin 2003 (M. Shaw).

En 2003, les américains ont fait une étude d'impact sur les conséquences du développement des nouvelles technologies UWB (Ultra Wide Band) en termes d'interférences pour GPS (D. Turner). Un nouveau type de système risque aussi de perturber les utilisateurs du GPS (J. Miller) : MSS Ancillary Terrestrial Component (MSS-ACT) qui sera discuté à la prochaine conférence internationale sur les fréquences (WRC-2003 à Genève en juin 2003). En particulier, les américains craignent beaucoup

que le niveau de bruit sur les fréquences GPS augmente et perturbe de plus en plus les utilisateurs civils et militaires.

Le système WAAS (L. Elderidge) est actuellement en phase de commissionnement jusqu'en juillet 2003. Le système développé par le contractant a été accepté. Un troisième satellite GEO sera choisi d'ici fin 2003. Les résultats (1,6 m en planimétrie et 2,0 m en vertical) sont bien meilleurs que les spécifications (7,6 m en planimétrie et en vertical). La Full Operational Capability (FOC) est prévue pour 2006. Des informations complémentaires sont disponibles sur le site Web : <http://gps.faa.gov>.

Le système NDGPS (Nation-Wide Differential GPS), plus adapté à des applications terrestres, continue son développement à un rythme moins rapide que prévu pour des raisons budgétaires (T. Harrington). Le coût de fonctionnement augmente proportionnellement au nombre de stations installées alors que le budget annuel reste stable (environ 7 M\$). Les précisions obtenues sont de 1 à 3 m. Le réseau NDGPS est inclus dans le réseau permanent GPS du NGS (CORS) qui est la réalisation du réseau géodésique américain (350 récepteurs localisés à 1-2 cm par le NGS (C. Challstrom). 30 sites sont installés et 46 restent à mettre en place (FOC pour 2008-2009). Des essais en cinématique grande distance pour des précisions décimétriques ont été conduits par les autoroutes US (M. Narins) et sont dis-



ponibles sur Internet à l'adresse suivante : <http://tfhrc.gov/its/ndgps/02110/index.htm>

Il a été rappelé que le système de référence américain est compatible avec le WGS-84 ainsi qu'avec le système ITRS (C. Challstrom) au niveau du cm. Une discussion a eu lieu sur la logique US de développer en parallèle les systèmes WAAS et NDGPS et sur les financements de ces projets sur le long terme. Certains ont même proposé de créer une entité GPS regroupant toutes les activités GPS et DGPS civiles et militaires.

## Politique à moyen terme du système GPS

Le premier satellite GPS IIR-M (code C/A disponible sur L2) sera lancé en 2004.

Le premier satellite GPS II-F (nouvelle fréquence civile L5) sera lancé 2006. Les premiers satellites GPS-III seront lancés à partir de 2012.

Il faut noter que les satellites GPS ont une durée de vie plus longue que prévue (plus de 10 ans) et que les américains sont actuellement confrontés à un choix difficile (R. Garret) : conserver les satellites actuels le plus longtemps possible (ce qui recule d'autant les nouvelles performances sur L2 et L5) ou lancer le plus tôt possible les satellites II-RM, II-F puis III disponibles (surcoût très important qui doit être budgétisé quelque part). Tout dépendra en fait du financement du GPS-III et de la répartition entre les crédits militaires et les crédits civils.

## Galileo et autres systèmes

Le groupe technique US-Europe se réunira le 21 mars sur le thème compatibilité et inter-opérabilité des systèmes GPS et Galileo. La réunion plénière aura lieu les 9 et 10 avril. Actuellement le point de désaccord principal (vu des

américains) est le recouvrement par Galileo des codes M (code militaire GPS) qui est perçu comme un développement inacceptable pour les US car touchant aux aspects de sa sécurité nationale. Des discussions difficiles semblent actuellement avoir lieu dans le cadre de l'OTAN.

Les japonais vont développer un système complémentaire au GPS au dessus du Japon (Japanese Quasi Zenith Satellite System = QZSS aussi appelé précédemment JRANS). Ce système permettra d'obtenir une meilleure disponibilité des signaux de radionavigation par satellite dans un environnement urbain très dense et comportant de nombreux masques naturels (buildings élèves et proches).

**La prochaine réunion du CGSIC aura lieu à Portland du 7 au 9 septembre, à l'occasion du meeting de l'Institute of Navigation ION/GPS 2003 du 9 au 12 septembre 2003. ●**



### Nouveau, CADDEN Présente *SigmaX*!

#### Le SIG nomade à vos mesures

Enrichissez et mettez à jour vos bases de données SIG sur le terrain grâce à *SigmaX*, le nouveau système de localisation de conception française à l'interface graphique tactile, simple d'utilisation.

*SigmaX* vous procure une nouvelle dimension en permettant de voir, d'éditer, de naviguer, d'enrichir et de stocker les éléments et objets géographiques sur fonds de plans raster ou vecteur avec la plus grande précision.

- ✦ DGPS temps réel et en post traitement
- ✦ Carnet de terrain durci, étanche, tactile, technologie sans fil
- ✦ Écran couleur, Windows CE
- ✦ Gestionnaire d'attributs, levé en déport, implantation, trajectoires, calcul de périmètre et surface, géocodes, emboîtement...
- ✦ Importation carte Raster et vecteur
- ✦ Compatible Arcview, MapInfo, Autocad, geoconcept (format Texte, shape...)
- ✦ Évolutif suivant vos besoins





Contactez notre équipe commerciale sur [info@cadden.fr](mailto:info@cadden.fr) - [www.cadden.fr](http://www.cadden.fr) - Tel: 02 51 82 46 46



# Du vent dans les pales...



■ Dominique VINOT

***Voyage de Presse organisé par la Société ESRI France, le 27 mars 2003.  
Présentation du Logiciel GEOWIND et visite du Parc éolien des Corbières  
Maritimes : site de Grande Garrigue avec la Compagnie du vent.***

XYZ exprime tous ses remerciements aux organisateurs de ce voyage ainsi qu'aux responsables d'ESRI France et de la Compagnie du Vent pour leur disponibilité et la qualité de leur accueil au cours de cette journée : Madame Annabelle COHEN, de l'agence Sophie Monet, Madame Marie Claude MUSSEAU, MM. Jean Michel CABON et Michel BERNARD et de la Société ESRI France, MM. Pierre LAGANDRE et Philippe ALEXANDRE, de la COMPAGNIE DU VENT.

*...ac venti, velut agmine facto,  
Qua data porta ruunt et terras turbine  
perflant.  
Virgile. l'Enéide Livre I La Tempête.*

Des éoliennes... nous en avons tous entendu parler, mais des vraies, des grandes, qui tournent et produisent de l'électricité, nous sommes encore sûre-

ment peu nombreux à avoir pu les approcher, et surtout à avoir entendu de la bouche de leurs concepteurs et réalisateurs les informations touchant l'installation de ces générateurs d'un autre type. Où les installer, pourquoi, comment, et que peut-on en attendre ?

Invitée par la Société ESRI France à aller visiter le nouveau Parc des Corbières maritimes, première centrale éolienne de France, la rédaction d'XYZ s'était bien gardée de décliner l'offre, et c'est ainsi que le l'auteur de cet article s'est trouvé, ce jeudi 27 mars, par une matinée un peu couverte, à l'aéroport de Montpellier, en compagnie d'une trentaine d'autres personnes, toutes également intéressées et curieuses de découvrir ces installations.

Le programme de la journée prévoyait un déplacement jusqu'à Portel les

Corbières, à côté de Port la Nouvelle, dans un lieu de conférence proche du parc objet de la visite, pour une présentation par Pierre LAGANDRE et Philippe ALEXANDRE de l'application Géo Wind. Et, bien naturellement, était également prévu un déplacement sur place, seule manière d'appréhender la réalité de ces installations et leur importance. Dans un premier temps, le voyage en car, au départ de Montpellier, était mis à profit pour une présentation de la Compagnie du Vent, ses objectifs et ses réalisations, sa position à l'échelon européen. A notre arrivée, dans le cadre de Château Lastours à Portel les Corbières, l'information se poursuivait par une présentation de l'application Géo Wind, de sa conception à son utilisation dans la stratégie de mise en place d'éoliennes.

## Géo Wind... un atlas des vents...

Ce que l'on peut exprimer encore comme une analyse géographique et

une aide à la décision au service de l'énergie éolienne. Les principales phases d'élaboration de cet atlas peuvent se résumer ainsi :

- Enregistrement des mesures des vents : vitesses (par anémomètres) et directions (par girouettes).
- Enregistrement des données de l'environnement : relief et couverture végétale.
- Modélisation et calcul du vent, définition du potentiel éolien.
- Calcul du "nappage" régional.
- Intégration des données dans le SIG ArcView ; obtention d'une base de données géographique ou spatialisée.
- Intégration des données relatives aux zones d'exclusion et réseau électrique.

L'échange avec les conférenciers et entre les participants au voyage s'est bien sur poursuivi au cours du repas pris sur place, puis, l'information "en salle" cédait naturellement la place au terrain. Il s'agissait d'aller voir si ces nouveaux géants, aperçus à l'horizon sur les crêtes, depuis l'autoroute, et qui de loin, semblent nous adresser de grands signaux, étaient bien aussi imposants que l'on nous le laissait entendre, et surtout aussi bienveillants... Un car nous a conduit au pied des crêtes de Grande Garrigue, où un parc de 18 éoliennes a été implanté, et fonctionne depuis le 10 décembre 2002.

Le ciel s'était dégagé, et, bien sûr, le vent était au rendez vous. Les visiteurs ont donc pu parcourir tout à loisir la crête dégagée et balayée par un bon vent !!! Et là, pas de bruit... Pas de ronflement ni de sifflement, mais un souffle, une voix, une sorte de respiration ?

L'évolution du profil des pales depuis les premières installations est pour beaucoup dans le rendement et la réduction des nuisances.

Au pied des pylônes... on ne peut qu'être séduit par la sensation de puissance, alliée à une réelle élégance...

La vision de l'intérieur du pylône, même si nous n'en faisons pas l'ascension, confirme cette impression. On aurait souhaité demeurer plus longtemps et profiter de cet aimable accueil tout au long d'une journée très fertile en découvertes. Retour... comme toujours trop tôt en pareilles circonstances.

XYZ souhaite vous avoir fait partager l'impression rapportée de ce voyage,

impression qui est celle d'une technique parfaitement maîtrisée, appuyée sur une démarche rationnelle, tant en ce qui concerne les contraintes techniques que sur les impératifs environnementaux, sur une exploitation judicieuse des capacités actuelles des SIG, et qui fait avancer notre pays dans un domaine où il a un grand retard à combler.

## Quelques Points de repères...

Geo Wind est un logiciel de cartographie du potentiel éolien des régions. Pionnière en France, La Compagnie du Vent (LCV) est l'un des opérateurs historiques de l'industrie éolienne française. Créée en 1989, cette société montpelliéraine a été la première à produire industriellement de l'énergie électrique d'origine éolienne. La Compagnie du Vent construit et exploite des parcs éoliens destinés à la production électrique, elle dispose d'une puissance installée de 33 mégawatts (MW), représentant 26 % de la capacité éolienne française.

En 1997, la Compagnie du Vent a créé Géo Wind, application logicielle d'analyse géographique du potentiel éolien d'un territoire. Récemment, le logiciel a beaucoup évolué, s'appuyant désormais sur la plate-forme de développement du SIG ArcView d'ESRI France.

## Pour en savoir plus...

Comment marche une éolienne ? L'énergie éolienne et la protection de l'environnement ? L'énergie éolienne dans le monde ? L'opinion des Français sur les éoliennes ? Des adresses, des sites d'informations...

### La Compagnie du Vent

M. Jean-Michel GERMA - PDG

Le Millénaire, Horizon 21

650 rue Louis Lépine - 34000 Montpellier

Tél. : 04 99 52 64 71

[www.compagnieduvent.com](http://www.compagnieduvent.com)

[info@compagnieduvent.com](mailto:info@compagnieduvent.com)

### ESRI France

21, rue des Capucins - 92190 Meudon

Email : [jmcabon@esrifrance.fr](mailto:jmcabon@esrifrance.fr)

Tél. : 01 46 23 60 66

Fax : 01 45 07 05 60 - [www.esrifrance.fr](http://www.esrifrance.fr)

ou à Montpellier - Parc club du Millénaire

Bât. 2 - 1025, rue Henri Becquerel

34036 Montpellier CEDEX 1

Tél. : 04 67 99 47 10

## Quelques chiffres sur les éoliennes du parc...

**18 aérogénérateurs** (éoliennes) d'une puissance unitaire de 850 kilowatts.

Les tours culminent à **44 mètres** de hauteur, leur rotor tripales a un diamètre de **52 mètres**.

Le poids des tours est de **30 tonnes**.

Vitesse de rotation **30 tours minute**.

Avec un vent moyen de 8,5 m/s, la production moyenne est estimée à **65 000 mégawattheure par an...**

Le Parc éolien de Grande Garrigue double la puissance installée de la COMPAGNIE DU VENT.

## et encore...

**92 % des Français** souhaitent voir l'énergie éolienne se développer...

ceux qui vivent à proximité d'un parc éolien ont une image plus positive de cette source d'énergie propre...

alors... Bon vent !!!

## ....mais bien mieux, si vous en avez l'occasion, allez voir sur place...

Le site vaut le détour, et même le voyage... A partir de Narbonne, prendre la N.113 vers l'Ouest, en direction de Lézignan Corbières, sur environ 8 km. Après le col de la Muette, prendre à gauche la D 24 en direction d'Ornaison sur environ 300 m.

L'accès à Grande Garrigue (cote 174) est signalé par un panneau à gauche, la piste est praticable normalement en voiture jusqu'au premières éoliennes. Mais, monter à pied est un excellent moyen de découvrir la crête et de prendre conscience des dimensions des éoliennes au fur et à mesure de la progression, et aussi de comprendre les raisons du choix du lieu d'implantation.

Carte IGN TOP 100 N°72 au 1 : 100 000, BEZIERS-PERPIGNAN B3C3

Attention ! Le lieudit Grande Garrigue ne figure pas sur cette carte, mais seulement sur la carte au 1/25 000.



# L'AFT organise un concours intitulé : **Prix de l'AFT 2003** pour les Jeunes Ingénieurs Diplômés en Topographie

*Le conseil de l'AFT de septembre 2001 a approuvé le projet de création  
d'un prix de l'AFT destiné aux jeunes ingénieurs diplômés en Topographie.*

*Les étudiants des Ecoles d'Ingénieurs sont invités à soumettre  
au comité de rédaction de la revue XYZ un article portant*

*sur leur travail de fin d'études d'ingénieur géomètre-topographe.*

*Les meilleurs articles seront récompensés et publiés dans la revue XYZ.*

*Un montant global de 1 500 € est prévu en 2003.*

### Conditions de participation :

- être âgé(e) de moins de 26 ans ;
- joindre l'attestation du diplôme d'ingénieur ;
- être membre de l'AFT (être à jour de cotisation) ;
- proposer au comité de rédaction de la revue XYZ un article de 6 pages au moins en français (avec un résumé en anglais), en vue d'une publication dans la revue avec une présentation de l'ingénieur (résumé du curriculum vitae) ; les consignes aux auteurs sont téléchargeables sur le site Internet de l'AFT : <http://perso.club-internet/aftopo/>
- certifier que l'article n'a pas été soumis ou publié dans une autre revue ;
- date limite pour la proposition des articles : le 1<sup>er</sup> mars 2003 (pour les projets présentés dans les Ecoles en 2002 et avant).

### Comité d'attribution :

Le comité de rédaction de la revue XYZ, assisté du comité d'orientation scientifique, est chargé de désigner un comité d'attribution du Prix de l'AFT pour les Jeunes Ingénieurs Diplômés en Topographie.

Ce comité pourra associer un représentant des Ecoles Françaises. La qualité du contenu scientifique et de la rédaction de l'article seront les critères essentiels retenus.

### Publication des résultats :

- les candidat(e)s seront informé(e)s individuellement des résultats au plus tard le 1<sup>er</sup> septembre 2003 ;
- les résultats du concours seront publiés dans la revue XYZ dans l'année suivant la publication des résultats ;
- le Président de l'AFT remettra les prix à l'occasion d'une manifestation organisée par l'AFT en 2003.

## Photogrammétrie architecturale et modélisation 3D du patrimoine

■ Pierre GRUSSENMEYER

*Avec le développement récent des appareils photographiques numériques et des logiciels de photo-modélisation, le marché de la photogrammétrie architecturale est désormais accessible à l'ensemble des bureaux d'études impliqués dans le relevé, la documentation et la modélisation 3D de l'espace bâti. De nombreuses techniques (mono-image, stéréoscopie, ou multi-image) peuvent être appliquées pour le relevé d'un objet à l'aide d'appareils photos numériques. Cet article présente quelques principes plus largement exposés dans Grussenmeyer et al. (2001). Le lecteur trouvera également des informations utiles sur le site Internet du CIPA (Comité International de Photogrammétrie Architecturale) [<http://cipa.icomos.org>] où de nombreux liens vers des sites professionnels sont répertoriés.*

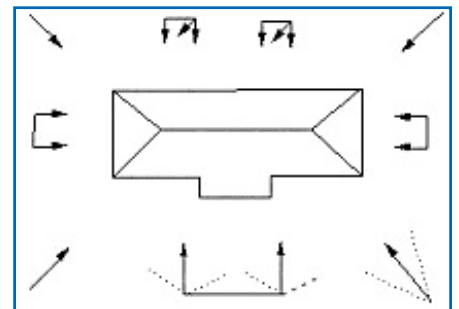
L orqu'on évoque la photogrammétrie, on pense principalement aux applications cartographiques issues de photos aériennes nécessitant une exploitation stéréoscopique. Ces applications, bien que de plus en plus accessibles techniquement et financièrement, restent réservées à des entreprises spécialisées. En s'intéressant à la photogrammétrie rapprochée et plus particulièrement à la photogrammétrie architecturale (dont on ne connaît en général que les restitutions de façades ou de cathédrales), on constate qu'il existe de nombreux logiciels capables de produire des restitutions 3D ou des modèles texturés à partir d'un ensemble d'images numériques d'un objet. L'objectif de cet article est de sensibiliser le lecteur à ces techniques en définissant quelques méthodes de relevé et de modélisation susceptibles d'intéresser les cabinets de géomètres et les bureaux d'études. L'article présente l'exemple du relevé d'un bâtiment, une sélection d'appareils photographiques numériques récents, des solutions pour le traitement des images et différents exemples d'applications pour illustrer ces solutions.

### Relevé d'un bâtiment en photogrammétrie architecturale

Les photographies donnent une représentation complète de l'objet à un instant précis sur des supports (films, plaques de verre, ou fichiers-images) dont la conservation est en principe illimitée. Mais une photographie conique n'est qu'une projection d'un objet à trois dimensions. L'utilisation d'au moins deux photographies réalisées à partir de points de vue différents permet dans le cas général de reconstituer l'objet en 3D. L'information obtenue (points, lignes, surfaces, volumes) qui en résulte est traitée en vue de la représentation de l'objet par l'élaboration de modèles tridimensionnels ou de photomodèles.

Pour la réalisation des prises de vues terrestres, plusieurs chambres de prises de vues ayant des caractéristiques complémentaires (focales, format, etc.) sont en général néces-

saires pour tenir compte des obstacles, de la hauteur des bâtiments, du manque de recul. Il est souvent impossible de photographier dans des conditions proches du "cas normal". On peut alors réaliser des visées inclinées, des couples en biais ou des vues convergentes mais l'exploitation des photos sera plus difficile. Il est conseillé de relever l'ensemble d'un bâtiment en rajoutant des vues en biais pour créer un bloc plus stable (fig. 1).



**Fig. 1 : Disposition recommandée des clichés autour d'un bâtiment**

### Appareils photographiques

Les principaux critères pour l'utilisation d'appareils photographiques sont le format des clichés, le type d'objectif et leur qualité. En photogrammétrie aérienne, les formats des originaux sont de 23 cm x 23 cm. En photogrammétrie terrestre ou architecturale, les formats sont en général plus réduits pour des questions de mise en œuvre sur le terrain. Si l'utilisation de chambres métriques (réputées pour leur stabilité et la définition précise des paramètres internes) reste d'actualité, on peut cependant envisager de travailler avec des appareils photos au format 24 mm x 36 mm ou des appareils photos numériques non métriques lorsque la précision n'est pas l'objectif majeur. L'utilisation d'appareils photos numériques facilite le relevé et les images sont immédiatement utilisables pour la modélisation. Avec une bonne disposition des prises de vues autour d'un bâtiment (fig. 1), une chambre d'amateur étalonnée peut fournir des précisions de l'ordre du centimètre.

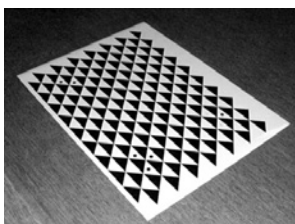
Constructeur	Type	Nbre de pixels (HxV)	Format d'image [mm²]	Prix
<b>Appareils photos numériques avec zoom :</b>				
Fuji	FinePix S602 Zoom	2048 x 1536	Super-CCD 1/1,7"	Env. 800 €
Minolta	Dimâge 7i	2560 x 1920	CCD 2/3"	Env. 1 000 €
Nikon	Coolpix 5700	2560 x 1920	CCD 2/3"	Env. 1 250 €
				
<b>Reflex numériques à objectif interchangeable (prix boîtier nu) :</b>				
Nikon	D100	3008 x 2000	CCD 23.7x15.6	Env. 2 600 €
Fuji	FinePix S2 Pro	4 256 x 2 848	Super-CCD 23x15.5	Env. 2 500 €
Canon	EOS D60	3 072 x 2 048	Cmos 22.7 x 15.1	Env. 2 900 €
Sigma	SD9	2 263 x 1 512	X3 Cmos 20.7x13.8	Env. 2 000 €
				
<b>Reflex numérique métrique :</b>				
Rollei	D507 (bi-focal)	2 552 x 1 920	CCD 2/3	Env. 5 000 €
				

**Fig. 2. Exemples d'appareils photos numériques**

Pour être utilisés en photogrammétrie, les objectifs doivent être étalonnés. L'étalonnage consiste à déterminer :

- la distance principale (ou focale) de l'objectif ;
- les coordonnées du point principal (centre de l'objectif projeté sur le fond de chambre) ;
- les paramètres de distorsion qui correspondent aux erreurs de représentation introduites par l'imperfection de l'objectif.

Les distorsions sont de l'ordre de 1 à 5 microns pour des objectifs métriques mais peuvent dépasser 100 microns sur les bords des images pour des appareils d'amateur. Certains logiciels proposent des solutions simplifiées pour l'étalonnage des appareils photos (fig. 3). Par exemple, le module "Camera Calibrator" du logiciel PhotoModeler [www.photomodeler.com] consiste à calculer les caractéristiques de l'appareil



**Fig. 3 : Mire d'étalonnage du logiciel PhotoModeler.**

les caractéristiques de l'appareil

photo à partir d'un bloc de photos d'une mire plane (fixée sur un mur ou posée sur une surface plane). Cette solution (expéditive) permet d'étalonner un appareil en moins d'une heure. Des méthodes plus élaborées basées sur le relevé de canevas de points de référence en 3D seront utilisés pour un étalonnage plus rigoureux.

Les appareils suivants ne sont pas utilisables en photogrammétrie architecturale :

- les appareils auto-focus car la distance focale change pour chaque cliché, d'où une instabilité des paramètres ;
- les appareils à développement instantané en raison de l'absence de négatifs originaux ;
- les appareils jetables pour la très faible qualité de l'objectif.

Si l'objectif est équipé d'un zoom, celui-ci doit rester dans une position fixe durant toutes les opérations de relevé.

L'utilisation combinée de plusieurs appareils à film et d'appareils numériques au sein d'un même projet est courante en photogrammétrie architecturale.



## Solutions pour le traitement des images

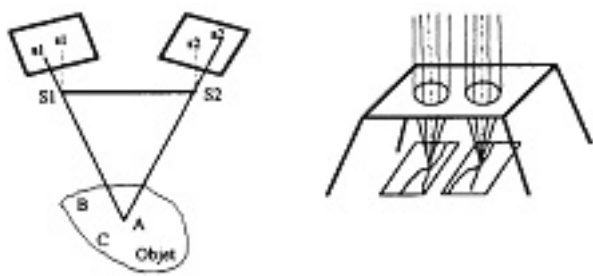
La photogrammétrie architecturale et la photogrammétrie aérienne n'ont ni les mêmes applications, ni les mêmes exigences. La plupart des Stations de travail Photogrammétriques Numériques sont principalement consacrées à la mesure d'images stéréoscopiques, l'aérotriangulation, les Modèles numériques de Terrain (MNT) et la production d'ortho-images à partir d'images stéréo aériennes et verticales. Malheureusement, de nombreux systèmes de photogrammétrie aérienne (plus spécialement développés pour la cartographie numérique) ne prennent pas en compte les contraintes de la photogrammétrie terrestre.

Il existe aujourd'hui de nombreux logiciels multi-images à faible coût, fonctionnant sur des ordinateurs PC standards, et capables d'utiliser différents types d'images (de chambres à matrices DTC ou des images scannées de petit et moyen format) au sein d'un même projet. Bien entendu, la qualité des images numériques influence directement le résultat définitif de la restitution. Des chambres numériques à basse résolution ou des scanners bon marché peuvent être suffisants pour des photomodèles 3D mais pas pour une documentation métrique. Au delà de la "traditionnelle" restitution 3D vectorielle de l'objet, de nombreux systèmes permettent de concevoir des photomodèles visuels ou virtuels en appliquant des textures réelles ou artificielles sur les modèles surfaciques tridimensionnels.

**Les différents types de systèmes sont basés sur l'exploitation d'une ou plusieurs photos :**

**A partir d'une seule photo :** lorsqu'on dispose d'images isolées d'un objet, quelques mesures de distances suffisent pour appliquer la technique de redressement sur les différentes parties planes de l'objet (façades par ex.). Le calcul de mosaïques d'images redressées est une application courante de la photogrammétrie architecturale. En disposant d'informations additionnelles sur la géométrie d'un objet, des techniques de modélisation mono-image ou de monorestitution peuvent être développées à partir d'une seule photo.

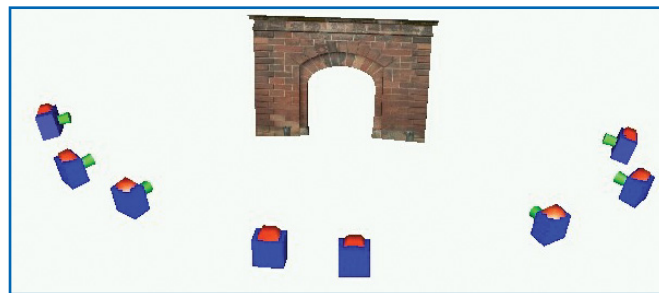
**A partir de deux photos :** si la géométrie de l'objet est complètement inconnue, la restitution d'une image seule d'un objet 3D est impossible. Deux images sont alors nécessaires. L'observation stéréoscopique des clichés est possible si les plans des photographies sont parallèles (fig. 4). Les prises de vues sont alors exécutées dans des conditions



**Fig. 4 : Photographies d'un objet à partir de deux points de vue différents.**

proches du "cas normal", c'est-à-dire que les axes de prise de vues sont parallèles entre eux et perpendiculaires à la base photographique. La stéréorestitution permet de réaliser des plans 2D de façades, des modèles filaires et surfaciques en 3D, éventuellement complétés par leur topologie. La stéréorestitution est une méthode privilégiée pour l'analyse et l'interprétation des objets complexes. Les techniques de corrélation d'images ont permis d'automatiser quelques étapes du processus d'orientation des images et de faire évoluer les méthodes de restitution.

**Bloc multi-image :** pour reconstruire un objet complexe, la configuration de la prise de vue n'est pas forcément fondée sur des couples stéréoscopiques et des prises de vues parallèles. Les photos convergentes, horizontales, verticales ou obliques sont envisageables. Les traitements reposent sur l'ajustement de blocs d'images par la méthode des faisceaux, et permettent d'obtenir une solution robuste et homogène de la géométrie de l'objet. Les logiciels multi-images sont souvent utilisés pour la visualisation des objets en 3D, le calcul d'animations et de photomodèles (modèle en 3D avec textures, voir § 5.5.).



**Fig. 5. Exemple de configuration multi-image**

## Exemples d'applications

### ■ Redressement d'images numériques

En architecture, beaucoup d'objets peuvent être considérés comme plans. Dans ce cas une perspective unique est suffisante pour calculer une image redressée mise à l'échelle, même si la photo est inclinée par rapport au plan considéré. Au moins 4 points de contrôle définis par leurs coordonnées ou par des distances dans le plan de l'objet sont nécessaires pour calculer les paramètres du redressement par rapport aux plans de référence définis par l'utilisateur. De simples dessins 2D (en mode vecteur), des plans image (en mode raster) sont issus du redressement.

Les photographies des façades devraient être effectuées perpendiculairement aux plans de référence (sans trop d'inclinaison), et seule la partie centrale de l'image devrait être considérée pour une meilleure exactitude.

Les logiciels de DAO incluent souvent des outils de manipulation d'image et permettent une transformation simple de l'image ainsi que son redressement. Mais ils considèrent rarement les distorsions de la chambre, par opposition aux logiciels de photogrammétrie.

**Figures 6 a, b et c : exemple de St Livier (Metz). Photos et relevé topographique de Louis Prieur, Architecte du Patrimoine à Thomery (77)**



**(a) Photos initiales obliques**



**(b) relevé topographique de la façade. Les points et les distances de contrôle sont utilisés pour le redressement des photos**



**(c) Photos redressées (mosaïque et détails de la façade)**

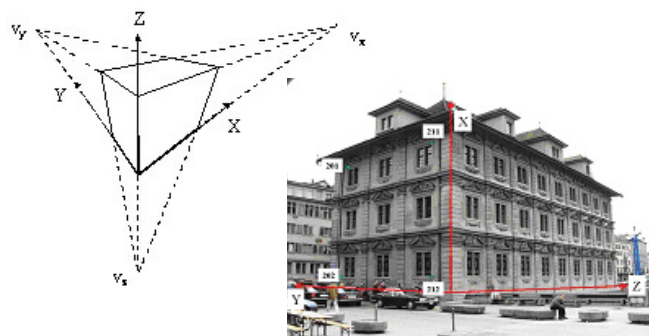
Comme complément à la rectification d'images numériques et à la confection d'ortho-images, on peut transformer des images isolées correspondant à des surfaces d'expression analytique 3D connues pour fournir des produits raster, basés sur des projections cartographiques. Des projections de données raster et des développements non-métriques d'images de peintures sur voûtes cylindriques et sur surfaces sphériques sont possibles.

### ■ Modélisation mono-image

Pour définir la géométrie 3D d'une scène à partir d'une seule image, on peut appliquer différentes méthodes basées sur la reconstruction de la forme à partir de l'ombre, de combinaisons de focalisation et défocalisation, d'interprétation des textures ou encore de la géométrie. Ces méthodes sont bien connues en vision par ordinateur.

D'autres exemples de techniques de modélisation mono-image sont basées sur :

- l'utilisation des surfaces analytiques (évoquées dans le § 5.1.) ;
- la combinaison d'une image aérienne avec un MNT et des orthophotos pour l'automatisation du calcul de l'orientation externe ;
- l'utilisation de contraintes géométriques et topologiques ;



**Fig. 7 : Application des concepts de la géométrie projective à la reconstruction 3D d'un bâtiment**

- l'utilisation des concepts de la géométrie projective (coordonnées homogènes, points de fuite, homographie et coniques absolues). Ces approches sont intéressantes car elles donnent la possibilité d'effectuer une reconstruction 3D à partir d'une image non étalonnée.

L'exemple suivant illustre une reconstruction d'un bâtiment à l'aide de ses points de fuite et d'une homographie (Al Khalil & Grussenmeyer, 2002). Ces points sont calculés à l'aide de l'intersection des lignes parallèles aux axes de référence définis arbitrairement sur l'objet (figure 7). La reconstruction du modèle 3D sera par exemple basée sur les relations topologiques enregistrées dans une base de données relationnelles.



Exemple de stéréorestitution de 1992, et résultat de la restauration en 1998.

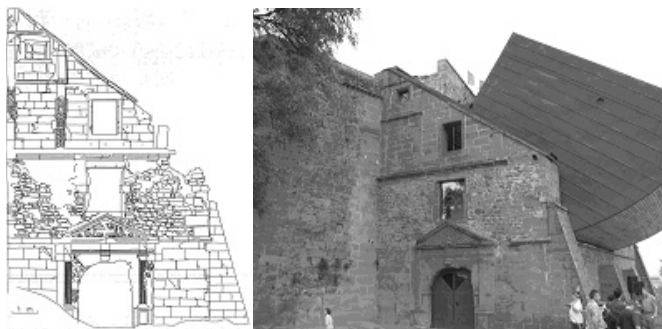


Fig. 8 : Château du Lichtenberg (Vosges du Nord).

## ■ Exemple de stéréorestitution

La stéréorestitution (basée sur l'observation de couples de prises de vues) est encore couramment mise en œuvre sur les stéréorestituteurs analytiques, notamment pour des objets riches en détail où le support argentique procure une précision élevée et un confort visuel. De plus en plus de systèmes de stéréorestitution numérique sont proposés actuellement, mais certains ne fonctionnent pas dans les conditions terrestres. Les applications de la stéréorestitution en photogrammétrie architecturale sont bien souvent des plans de façades (fig. 8), des relevés "pierre à pierre", de sculptures, de voûtes, de plafonds ou de vestiges archéologiques.

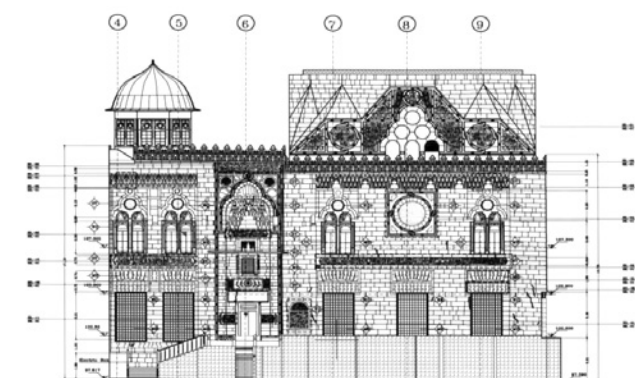


Fig. 9. Exemple de documentation d'une façade du complexe El Ghuri (Le Caire, Egypte) - Stéréorestitution de S. Guillemin (INSA Strasbourg), en relation avec le Centre d'Ingénierie et d'Archéologie de l'Université du Caire.

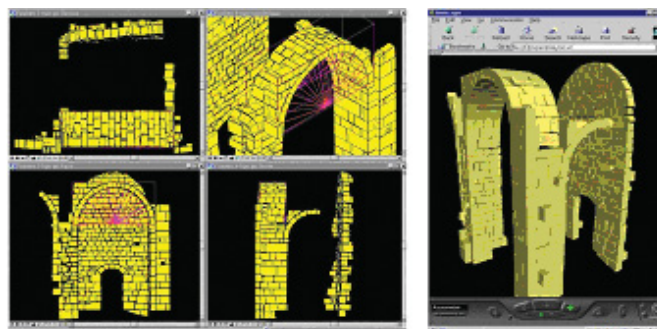


Fig. 10 : Exemple de photo métrique (chambre Wild P32) de la priorale Notre-Dame d'Aleyrac et résultats graphiques du relevé pierre-à-pierre

Dans l'exemple ci-dessous, le relevé avait pour mission primordiale la constitution d'archives, le constat des irrégularités, des dysfonctionnements de la structure et la description de l'appareillage des pierres.

## ■ Photogrammétrie et mesure d'entités architecturales

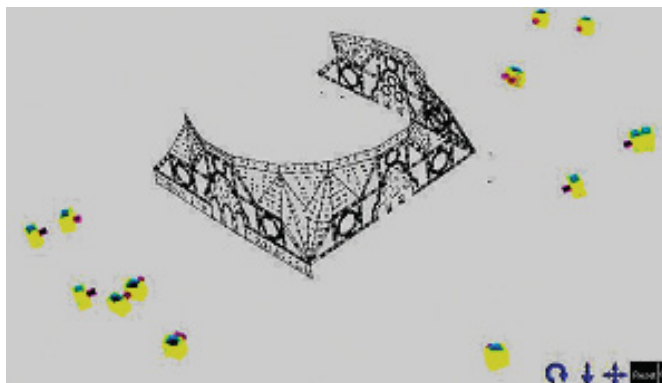
Cet exemple présente une approche du relevé architectural, où la phase de mesure, guidée par un modèle architectural, est laissée à l'initiative de l'architecte ou de l'archéologue. Une partie de la Priorale Notre-Dame d'Aleyrac (édifice roman du XII<sup>e</sup> siècle) a été choisie pour valider une approche du relevé "pierre-à-pierre" (Drap et al., 2000).

Le procédé de restitution des blocs (fig. 10) permet de définir, pour chacun des blocs, un mode d'extrusion et une profondeur approximative renseignée par l'utilisateur. La génération du modèle du bloc s'appuie donc sur la mesure de la face visible des blocs, sur la géométrie mesurée de l'entité architecturale propriétaire du bloc (un plan dans le cas de mur, cylindre pour l'intrados de l'arc du transept nord) et sur la profondeur estimée du bloc.

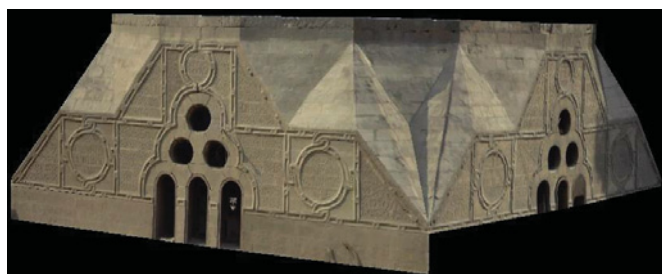
Après la mesure des faces visibles d'un bloc, sa morphologie est représentée par un polyèdre et stockée dans une structure de données qui permet de rendre compte de considérations topologiques et géométriques d'un ensemble de blocs.

Cette approche est proposée dans le module de saisie du logiciel de photogrammétrie ARPENTEUR (ARchitectural PhotogrammEtry Network Tool for Education and Research), développé au sein de l'UMR MAP 694 [www.arpenteur.net].





Géométrie du relevé photogrammétrique (objet par rapport aux stations de prise de vues)



Photomodèle 3D

Fig. 11 : Modélisation du dôme du mausolée El Ghuri au Caire (Egypte), à l'aide du logiciel PhotoModeler

## ■ Photogrammétrie multi-image et photomodèles

Les possibilités de visualisation en photogrammétrie architecturale sont liées à l'évolution des moyens informatiques. Les applications en temps réel et en 3D telles que des animations, des survols et visites interactives sont aujourd'hui possibles sur des ordinateurs individuels. On peut considérer deux concepts différents : celui de la "réalité virtuelle" qui utilise principalement des modèles en mode vecteur pour décrire une situation ou fiction non-existante (c.-à-d. virtuelle) ou celui de la "réalité visuelle" qui résulte d'une combinaison complexe de vecteurs, de surfaces et de textures provenant de photos pour visualiser un objet existant (photomodèle).

En fonction du but et de l'exactitude recherchée, il y a de nombreuses façons de créer de tels modèles 3D texturés. Elles vont du simple placage de photos redressées sur des surfaces géométriquement simplifiées de façades jusqu'à une re-projection des photos originales sur la géométrie complexe d'un bâtiment en utilisant les paramètres de l'orientation interne et externe de la chambre.

Si on considère que de tels modèles en 3D constituent la base de la documentation, on peut en déduire de nombreux produits dérivés comme par exemple des vues en perspective à partir d'un point de vue quelconque. Le format VRML est souvent utilisé pour décrire des modèles à trois dimensions et des scènes, y compris des éléments multimédia sta-

tiques et dynamiques. Les modèles 3D de l'objet peuvent être interactivement observés et visités par l'utilisateur. Un grand nombre de photos sera utilisé pour couvrir un objet dans son ensemble. Pour obtenir une solution homogène pour un objet, l'orientation simultanée de tous les clichés est nécessaire.

L'exemple suivant (Fig. 12) présente les résultats de la modélisation de l'ancien hôtel de Ville de Zurich (Suisse) datant de 1698 et relevé en mai 1999 avec des appareils photographiques numériques standards (images d'environ 1,3 Mpixels) dans le cadre d'un projet du CIPA [<http://cipa.icomos.org>].



Fig. 12a. Photos numériques utilisées pour le traitement multi-image du bâtiment

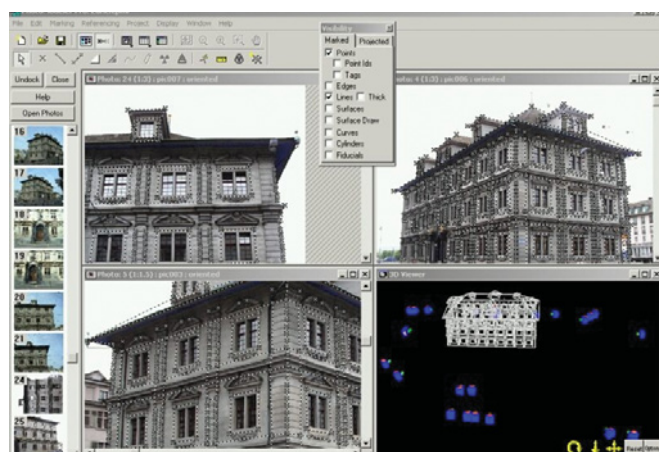


Fig. 12b. Restitution multi-image à l'aide du logiciel PhotoModeler

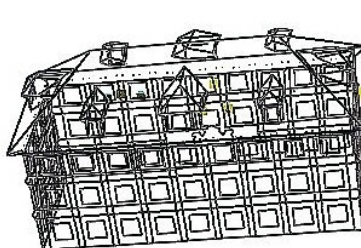


Fig. 12c. Résultat de la restitution 3D (modèle filaire)



Fig. 12d. Photomodèle 3D d'après (Rottensteiner et al., 2001)

## Conclusion

Les différents exemples présentés ont permis de donner un aperçu de l'état actuel des techniques et des recherches en photogrammétrie architecturale. Le paragraphe consacré au relevé d'un bâtiment permettra au lecteur d'organiser sa prochaine campagne de prise de vues. L'apparition récente d'appareils reflex numériques à quelques milliers d'euros va sans aucun doute permettre d'augmenter la qualité géométrique et radiométrique des modèles issus des traitements. Les techniques pour le traitement des images restent manuelles et interactives. Les recherches actuelles vont dans le sens de l'automatisation des mesures et du développement de modules "métiers" dédiés à la représentation de catégories d'objets dans de nombreux domaines comme l'architecture, l'archéologie, l'épigraphie, et aussi pour le génie civil et l'industrie. De nombreux projets combinent les techniques de photogrammétrie et de lasergrammétrie, ce qui constitue sans aucun doute l'avenir dans le domaine de la modélisation 3D du patrimoine, mais le prix des scanners lasers est à l'heure actuelle dix à vingt fois supérieur à celui d'un appareil reflex numérique et d'un logiciel de photomodélisation.

Le Comité International de Photogrammétrie Architecturale (CIPA) a été évoqué à plusieurs reprises dans cet article. Le CIPA a été fondé en 1969 à l'initiative de M. Maurice Carbonnell (Ingénieur de l'Institut Géographique National, premier président du CIPA de 1969 à 1988, et actuellement Président d'Honneur), par le Conseil International des Monuments et Sites [www.icomos.org] et la Société Internationale de Photogrammétrie et de Télédétection [www.isprs.org]. Les objectifs du CIPA (désigné actuellement Comité ICOMOS & ISPRS pour la Documentation du Patrimoine Culturel) sont la promotion des applications de la photogrammétrie aux monuments et aux sites et le développement des techniques, la documentation et la conservation du patrimoine. J'assume actuellement au sein du CIPA les fonctions de délégué national, de trésorier et de membre du comité directeur. ●

## Contact

**Pierre GRUSSENMEYER**

Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg  
Equipe PAGE : Photogrammétrie Architecturale et GEomatique  
UMR MAP n° 694 CNRS - Ministère de la Culture et de la Communication  
Pierre.Grussenmeyer@insa-strasbourg.fr

**CIPA HERITAGE**  
**DOCUMENTATION**

<http://cipa.icomos.org>

## Références

- Al Khalil, O., Grussenmeyer, P., 2002.** *Etude sur la reconstruction géométrique et topologique d'un bâtiment en photogrammétrie mono-image.* Revue de l'Association Française de Topographie, 2<sup>e</sup> trim. 2002 N°91, p. 18-23.
- Drap, P., Gaillard, G., Grussenmeyer, P., Hartmann-Virnich, A., 2000.** *A stone-by-stone photogrammetric survey using architectural knowledge formalised on the ARPENTEUR Photogrammetric workstation.* XIXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Amsterdam 16-23 July 2000. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, part 5, pp. 187-194.
- El-Hakim, S., Beraldin, J.-A., Picard, M., 2003.** *3d modelling of heritage monuments, increasing realism by combining techniques.* GIM International (Geomatics Info Magazine), avril 2003, pp. 13-15.
- Grussenmeyer, P., Guillemin, S., 2000.** *Patrimoine et photogrammétrie architecturale, 1992-1999 : 8 ans de projets à l'ENSAIS.* Revue d'information des anciens élèves de l'ENSAIS, Arts et Industries n° 248, pp. 19-26. ISSN 0004-3982, janvier 2000.
- Grussenmeyer, P., Hanke, K., Sreilein, A., 2001.** *Photogrammétrie architecturale, chapitre dans "Photogrammétrie numérique",* édité par M. Kasser et Y. Egels, Editions Lavoisier-Hermès, pages 317-352.
- Kraus, K., Waldaeusl, P., Traduction de Grussenmeyer P. et Reis O., 1998.** *Manuel de photogrammétrie, principes et procédés fondamentaux.* Paris : Hermès, 407 pages.
- Rottensteiner, F., Grussenmeyer, P., Geneva, M., 2001.** *Experiences with the digital photogrammetric program package ORPHEUS based on CIPA's "Zurich city hall" dataset for architectural photogrammetry.* In XVIII CIPA International Symposium, Potsdam, Germany, Sept. 18-21 st, 2001 & Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIV, Part 5/C7, pp. 639-646.

## ABSTRACT

*Due to recent developments in digital imaging and photomodeling software packages, architectural photogrammetry is nowadays available for every engineering office involved in the surveying, the documentation and 3D modeling of developed sites. Many techniques (mono-image, stereoscopy, or multi-image) can be applied for surveying objects with digital cameras. This paper presents some principles more largely presented in Grussenmeyer et al. (2001). The reader will also find information on the Internet site of the CIPA (International Committee of Architectural Photogrammetry) [<http://cipa.icomos.org>] where many links towards professional sites are indexed.*



# Histoire d'eau Positionnement d'un siphon en surface

■ Paul COURBON - Ingénieur des Travaux (IGN)

*Le gaspillage, la pollution, les modifications climatiques, l'urbanisation et l'explosion démographique vont créer une grave pénurie d'eau dans de nombreux pays, au Proche Orient entre autres. La découverte d'une importante rivière souterraine au Liban a fait naître un projet de captage nécessitant un forage de 280 mètres à travers le calcaire. L'auteur, qui a déjà réalisé avec succès plusieurs positionnements pour ce type de forage, décrit la méthode topographique utilisée pour lever la cavité et positionner le futur forage en surface. Cette détermination topographique a été complétée par un positionnement électromagnétique ARCAS mis au point par Joan ERRA. précision des deux déterminations est évaluée.*

### ■ MOTS CLES

Besoins en eau, rivière souterraine, topographie souterraine, implantation, positionnement électromagnétique (radio localisation), précision.

## Les besoins en eau

Le problème de l'eau est l'un des défis à relever par l'homme dans les décennies à venir. D'un côté, le gaspillage, les excès polluants et la goinfrerie des pays riches, de l'autre côté, l'explosion démographique, l'urbanisation galopante et l'absence de programmes des pays du tiers-monde, sont autant de facteurs aggravants.

### ■ Le proche orient

Bien que l'expansion démographique soit moins forte au Proche Orient qu'en Algérie, par exemple, elle existe de manière très visible. Les besoins d'eau accentués par l'urbanisation et les progrès économiques sont en augmentation constante. De plus, ici, point commun avec les pays du sud de la Méditerranée, la pluviométrie décroît très vite à mesure que l'on s'éloigne de la mer. Le problème de l'eau prend alors une importance exceptionnelle, une dimension géopolitique qui peut devenir explosive. Israël pompe chaque année 320 millions de mètres cubes dans le Lac de Tibériade et les ponctions faites au Jourdain avec la Jordanie amenuisent la rivière au point que le niveau de la Mer Morte s'abaisse d'année en année. La construction de quatre bar-



rages énormes sur le Tigre et l'Euphrate peut permettre à la Turquie d'assoirer la Syrie et l'Iraq. Quant à la Syrie, elle a su faire pression sur le Liban pour s'accaparer l'eau de l'Oronte.

### ■ Le Liban

Une analyse primaire, donnant au pays le surnom de "Suisse du Proche-Orient", pourrait faire croire qu'il échappe aux problèmes de l'eau. D'ailleurs, les apparences sont trompeuses. Alimentées par les karsts d'altitudes, de nombreuses sources jaillissent un peu partout. Mais, si les montagnes sont arrosées, elles appauvrissent les nuages qui après elles sont

beaucoup moins généreux. Alors que Beyrouth reçoit 800 mm d'eau par an, on tombe à moins de 600 mm sur la Bekaa. L'Anti-Liban prend encore de l'eau aux nuages, si bien que la Syrie ne reçoit plus que 400 à 250 mm par an. De plus, depuis six ans, une pulsion aride a diminué ces quantités de 20 à 25 %.

La saison sèche, plus longue et beaucoup plus marquée qu'en Europe, accentue grandement les besoins en eau. La longue période de sécheresse estivale nécessiterait d'importants barrages de stockage. Mais, le karst, qui occupe 65 % du territoire, limite les écoulements de surface, de plus sa perméabilité complique la construction de



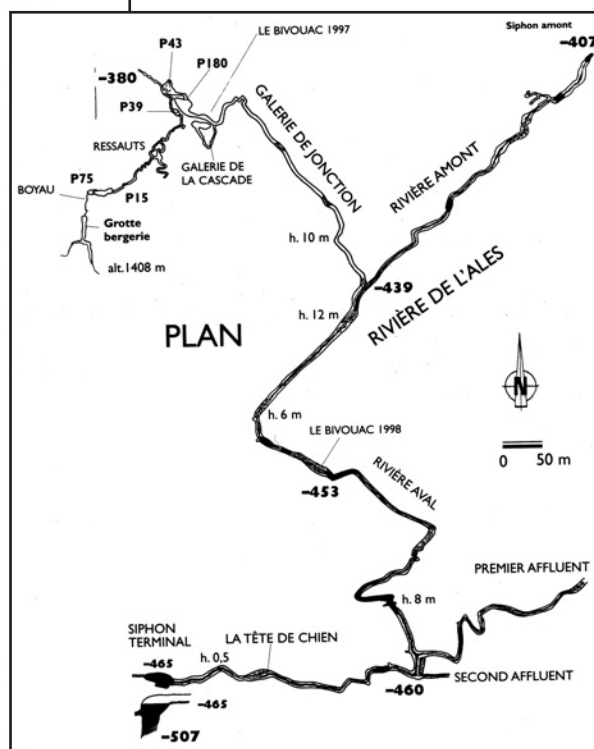
## ■ Qattine Azar ou une belle histoire d'eau

belles continuations dans une grotte connue, maintenant appelée Qattine Azar. Les explorations menées avec le Spéléo Club du Liban (SCL) permettent d'atteindre une belle rivière souterraine se terminant sur un vaste siphon. Dans un pays qui souffre chaque été du manque d'eau, c'est une belle aubaine et le Bureau Technique pour le Développement (BTD) dirigé par Michel Majdalani et Tony Comaty pense tout de suite au parti que l'on pourrait tirer d'un captage. Il monte un projet, en liaison avec le Ministère de l'Energie et de l'Eau et le Conseil du Développement et de la Reconstruction. Paul Courbon est contacté pour réaliser une topographie

précise du gouffre, en vue de l'implantation d'un forage en surface. Cette topographie, compliquée par la présence de nombreux puits, dont un de 180 mètres, sera réalisée en 1997 et en 1998, avec l'aide du spéléologue Hervé Tainton et des deux groupes spéléologiques libanais précités.

En 1999, en vue de contrôler ce lever, une détermination électromagnétique est réalisée par Paul Courbon et Joan Erra inventeur du procédé ARCAS (Appareil de Recherche de Cavités Aveugles Souterraines). Nous exposons, ci-après, les méthodes employées et la précision envisagée.

Dans une grotte peu accidentée, on peut appliquer les méthodes de lever classique avec orientation goniométrique. C'est-à-dire qu'avec un théodolite, en chaque station on s'oriente sur la station précédente. Cette méthode demeure la plus précise, à la condition que les distances entre les stations soient suffisamment longues et homogènes. Il n'en est pas de même dans un



### Figure 01 et figure 02

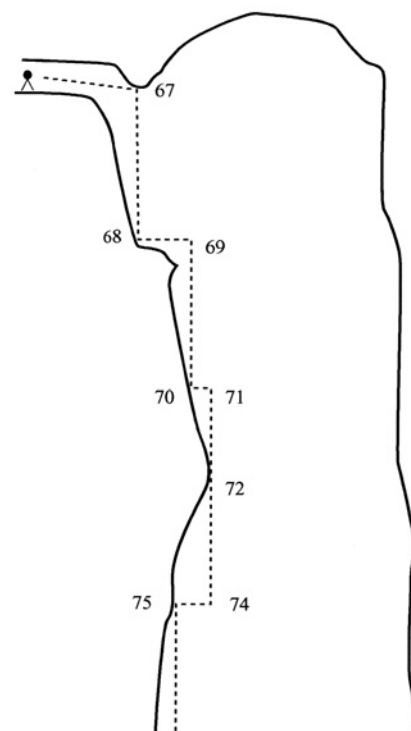
gouffre coupé par des puits verticaux ou subverticaux et des étroitures. Ces puits forment une cassure dans le cheminement, empêchant d'orienter la station du bas sur la station du haut. De plus, si certaines visées peuvent être longues, elles peuvent être très courtes dans les passages exigus. Une orientation sur une visée très courte peut générer de grosses erreurs planimétriques en fin de travail. (Fig. 1)

Le mode d'orientation magnétique est alors nécessaire, ce qui est possible dans le calcaire[CP1]. Chaque visée est orientée indépendamment de la précédente, par rapport au nord magnétique. L'erreur sur une visée reste attachée à cette seule visée, elle ne s'amplifie pas avec les suivantes. On démontre que lorsqu'une polygonale a un très grand nombre de cotés, cette indépendance des visées rend la méthode déclinée plus précise en planimétrie que la méthode goniométrique, malgré une précision angulaire bien inférieure. (Fig. 3)



Les spéléologues se servent de boussoles, en général de type Sunto, qui permettent une lecture au grade et même une estimation au demi-grade. On peut admettre pour chaque visée une précision de l'ordre du grade, ce qui donne une indécision de 20 cm à 13 mètres. Au bout de 100 visées de mètres, on peut espérer une précision de  $0,20 \sqrt{100}$ , soit 2 m et une tolérance de 5,4 m.

En ce qui nous concerne, nous employons un théodolite Wild T1 associé à un déclinatoire observé à travers un système grossissant. Nous rappelons qu'un déclinatoire est une aiguille

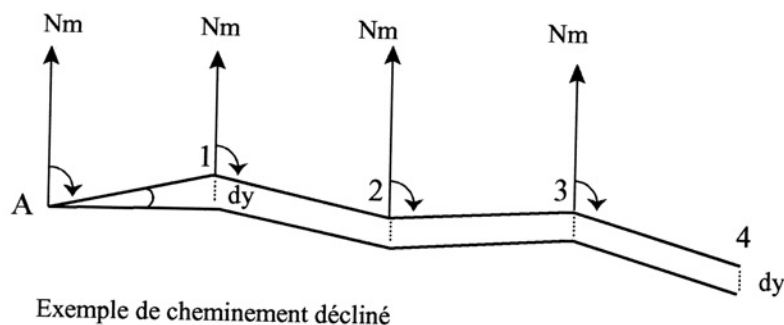
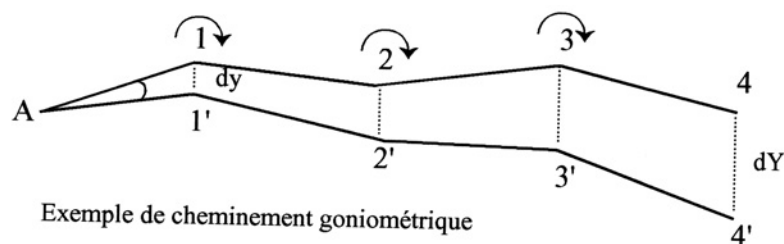


**Figure 04 : décomposition du P.180 en tronçons verticaux et horizontaux.**

aimantée ne donnant que la direction du nord, quand cette aiguille est en coïncidence avec son repère. Par prudence, nous avons estimé la précision angulaire de ce système à 0,35 grade, soit trois fois mieux qu'avec une boussole. Cette précision de 0,35 grade résulte d'une dizaine de contrôles étalés sur le temps, sur des repères fixes de surface. Il faut dire qu'en été, la variation journalière de la déclinaison peut atteindre 0,23 grades. Elle est liée à l'activité solaire.

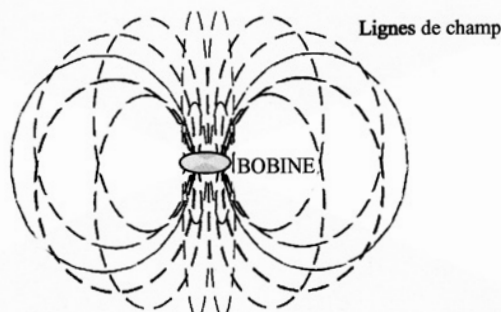
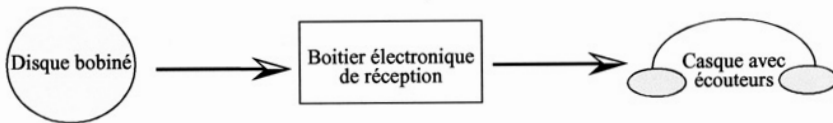
Lors de la topographie de Qattine Azar, nous avons rencontré deux difficultés. La première était constituée par un boyau de trente mètres de développement où nous avons dû faire 12 visées d'une longueur moyenne de 2,50 m. En mode goniométrique, dans les conditions difficiles de travail, une erreur de centrage de 5 mm sur une seule visée aurait généré une imprécision de 5 m au fond du gouffre! Le boyau ayant été bien aménagé, nous pouvions cependant utiliser le théodolite avec un trépied spécial de 30 cm de haut.

Deuxième difficulté : la non verticalité des puits. Seuls deux d'entre eux étaient verticaux. Pour tous les autres, nous avons dû scinder les puits en plusieurs tronçons, chaque fois que le



**Figure 03 : l'erreur angulaire en A a généré un décalage planimétrique dy qui est amplifié par le mode goniométrique, mais pas par le mode décliné.**

## RECEPTEUR ARCAS



## EMETTEUR ARCAS

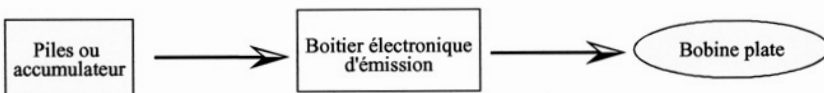


Figure 05

plomb accroché au bout du décimètre touchait la paroi. Le spéléologue qui descendait en parallèle, devait alors faire une marque sur la paroi. Chaque déport était mesuré avec une tige graduée et une boussole. (Fig 4)

## Positionnement électromagnétique

Le système de positionnement électromagnétique employé à Qattine Azar a été mis au point sous la direction de Joan ERRA, professeur d'électronique dans un lycée technique de Toulon. Il porte le nom d'ARCAS comme vu précédemment. Il se compose de :

### ■ Un émetteur

Nous rappelons que lorsqu'on fait passer un champ électrique dans une bobine, on crée un champ magnétique dont l'axe correspond à celui de la bobine. (Fig. 5)

L'émetteur est constitué par une bobine raccordée à un boîtier électronique d'émission, alimenté par des piles en série ou un accumulateur. L'alimentation doit se faire entre 10 et 18 volts. Avec 4 batteries alcalines de 4,5 volts montées en série, on obtient une autonomie de 15 heures.

Le diamètre de la bobine dépend de

l'épaisseur de calcaire à traverser : 50 cm pour une épaisseur inférieure à 50 mètres. A Qattine Azar où les topographies souterraines et aériennes indiquaient 265 mètres d'épaisseur, nous avons employé une bobine torique de 2 mètres de diamètre.

L'émetteur envoie des salves de vibrations qui sont reçues en surface comme des "bip-bip". Ces "bip-bip" sont beaucoup plus perceptibles qu'un bruit continu, ce qui améliore énormément la sensibilité du système. Les ondes émises sont classées en basse fréquence.

### ■ Un récepteur

Il est constitué d'un boîtier électronique de la taille d'un baladeur, d'un casque

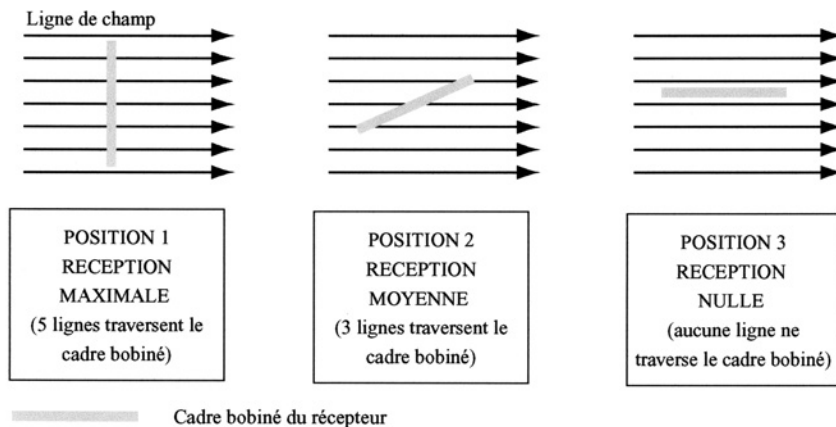


Figure 07

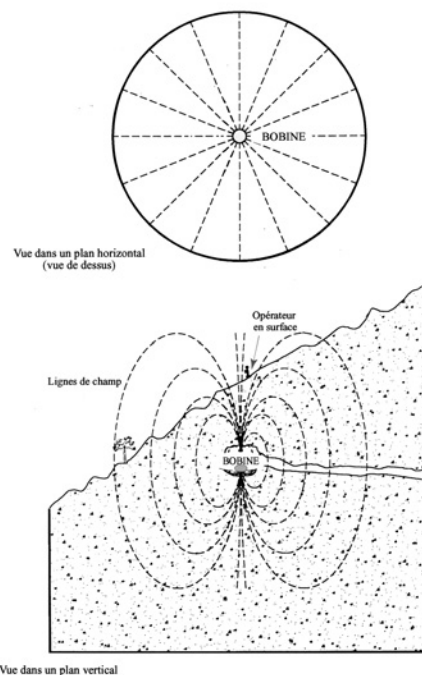


Figure 06



d'écoute et d'une bobine de réception portable.

A Qattine Azar, nous avons utilisé une bobine de 40 cm de diamètre. Elle était



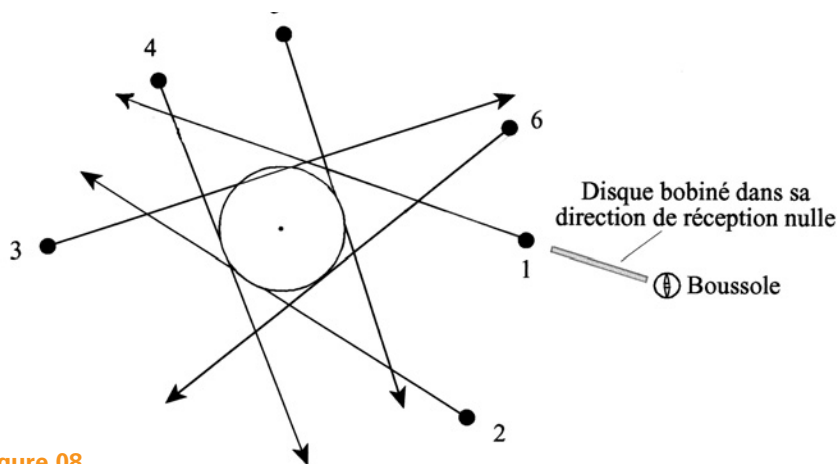


Figure 08

constituée par un disque de plexiglas. Autour de ce disque, une rainure contenait un enroulement d'un grand nombre de spires de fil de cuivre fin. Ce disque était équipé d'un niveau pour le maintenir dans un plan vertical quand on recherche la direction du champ magnétique.

### ■ Méthode

En un endroit donné, quand le disque est perpendiculaire aux lignes de champ, la réception est maximale. Dans l'écouteur, les "bip-bip" sont très nets et très perceptibles. Quand le disque est dans la direction des lignes de champ, aucune ligne ne traverse l'enroulement, il n'y a donc aucun son.

En maintenant le disque dans un plan vertical, il faut le tourner jusqu'à n'obtenir aucun son. Il est alors dans la direction de l'axe du champ magnétique. Si on répète l'opération de plusieurs points différents, l'intersection des directions mesurées donne la position de l'axe du champ magnétique.

### ■ Opération de Qattine Azar

Notre détermination s'est déroulée le 31 octobre 1999. A ma connaissance, c'était la première détermination faite à une telle profondeur. Bien avant (voir bibliographie), d'autres positionnements de ce type avaient été faits, mais à des profondeurs bien plus modestes et avec un matériel plus lourd.

Le report en surface du levé souterrain nous donnait une bonne indication sur la verticale du siphon. Notre détermination électromagnétique avait pour but de confirmer et améliorer éventuellement le point terminal de notre topographie.

Sur le lac terminal, nous avons fixé une bobine de 2 mètres de diamètre sur une petite piscine gonflable positionnée par rapport à deux points de la topographie de 1998. L'équipe de surface et celle du fond étaient reliées par téléphone.

En surface, nous avons déterminé au théodolite six points autour de la verticale présumée de la bobine, dans un rayon d'une trentaine de mètres. Du fait du terrain escarpé, ces points n'étaient répartis que dans un secteur de 210° environ. En chaque point, nous avons pris à la boussole la direction du disque bobiné quand la réception était nulle. Nous aurions pu le faire avec plus de précision avec un disque monté sur un bâti de théodolite, mais cela aurait été illusoire, la direction de réception zéro étant difficile à définir exactement.

Au bureau, nous avons reporté sur un plan ces six points d'après leurs coordonnées. Puis, à partir de ces six points, nous avons reporté les six directions prises à la boussole. Si les mesures avaient été parfaites, les six visées se seraient coupées en un seul point. Du fait de l'imprécision, il y a une dispersion matérialisée par le cercle inscrit au mieux dans les visées.

Le rayon du cercle est lié à l'imprécision de la mesure. (Fig. 8)

### ■ Contrôle de la verticalité

Pour nous assurer de la verticalité du champ, nous avons effectué quatre séries de mesures. Quand une série de six visées était terminée, nous téléphonions à l'équipe de fond qui tournait la bobine de 90°. Nous avons ainsi annulé le défaut de verticalité en moyennant

les mesures diamétralement opposées. (Fig. 9)

## Analyse des précisions

### ■ Levé souterrain

Notre calcul de précision n'est pas le plus rigoureux, mais, c'est le plus simple et le plus facile à comprendre. Il donne une estimation suffisamment approchée et logique de la précision.

#### Tronçon "entrée-rivière", hors puits.

Nous avons 92 visées totalisant 811 m, soit des visées moyennes de 9 m.

Précision transversale moyenne d'une visée :  $\pm 9 \tan 0,35 \text{ gr} = \pm 0,05 \text{ m}$

En ajoutant par précaution 2 cm pour les autres erreurs, nous adoptons  $\pm 0,07 \text{ m}$  par visée.

Soit une précision totale de  $\pm 0,07 \sqrt{92} = \pm 0,67 \text{ m}$ .

#### Tronçon "rivière"

Les visées sont plus longues, 63 pour 1 291 m, soit des visées moyennes de 20,5 m

Précision transversale moyenne d'une visée :  $\pm 20,5 \tan 0,35 \text{ gr} = \pm 0,11 \text{ m}$

En ajoutant par prudence 3 cm pour les autres erreurs, nous adoptons  $\pm 0,14 \text{ m}$  par visée.

Soit une précision totale de  $\pm 0,14 \sqrt{63} = \pm 1,11 \text{ m}$

#### Descente des puits

Etant données les conditions inconfortables de mesure, suspendu à une corde, nous estimons la précision sur les directions à 5 gr, soit pour 2 mètres de déport, une indécision transversale de  $\pm 0,16 \text{ m}$  que nous avons arrondie à  $\pm 0,20 \text{ m}$ .

Il y a eu 12 déports en puits ce qui donne une précision totale de  $\pm 0,20 \sqrt{12} = \pm 0,69 \text{ m}$ .

#### Précision résultante du levé souterrain

Elle s'établit à  $\pm \sqrt{(0,67^2 + 1,11^2 + 0,69^2)} = \pm 1,47 \text{ m}$ .

Nous avons fait pour chaque coté de la polygonale, une visée aller et une visée retour. Nous avons calculé une polygonale avec les visées aller et une seconde avec les visées retour. Cela nous a donné deux points pour le siphon. L'écart par rapport au point moyen a été de 1,80 m. Nous obtenons une précision théorique et un écart réel cohérents entre eux. ■ ■ ■

## Précision du levé aérien

Le levé aérien, de l'entrée du gouffre à la verticale du siphon comporte 27 visées totalisant 877 m, soit des visées moyennes de 32,5 m.

Précision transversale moyenne d'une visée :  $\pm 32,5 \tan 0,35 \text{ gr} = \pm 0,18 \text{ m}$ , arrondi à  $\pm 0,20 \text{ m}$ .

Soit une précision totale de :  $\pm 0,20 \sqrt{27} = \pm 1,04 \text{ m}$ .

## Précision de l'implantation du siphon en surface

C'est la résultante de la précision du levé souterrain et du levé de surface, soit :  $\pm \sqrt{(1,47^2 + 1,04^2)} = \pm 1,80 \text{ m}$ .

## Détermination électromagnétique

Nous avons exposé notre méthode pour annuler le défaut de verticalité. Nous avons fait la moyenne entre la première détermination, puis la détermination avec la bobine tournée de 180°. Nous avons fait une seconde moyenne des mesures avec la bobine à 90° puis à 270°.

Théoriquement, avec des mesures d'une précision parfaite, nous aurions dû obtenir deux points identiques. Du fait de l'imprécision, nous avons trouvé deux points distants de 2,70 m, soit de 1,35 m par rapport au point moyen. Si nous considérons les quatre cercles de détermination, ils ont un rayon de 1,2 m, 1,3 m, 1,6 m, et 2 m, soit une moyenne de 1,55 m. Les deux écarts de 1,35 m et 1,55 m, obtenues par des méthodes différentes, sont tout à fait cohérents.

## Conclusion

A notre connaissance, ce type de détermination électromagnétique était le premier réalisé à une profondeur aussi grande. D'autres déterminations de ce type avaient été réalisées bien avant, mais à des profondeurs beaucoup plus modestes et en employant un matériel plus lourd à mettre en œuvre. Il a pleinement confirmé la topographie souterraine, la dispersion entre les deux méthodes étant de 3 mètres, soit 1,5 m par rapport au point moyen. Cette précision de l'ordre de 1,5 mètre est en cohérence avec les calculs d'estimation. Elle est pleinement satisfaisante, surtout quand on sait que le lac terminal mesure 34 mètres sur 18. Le grand problème

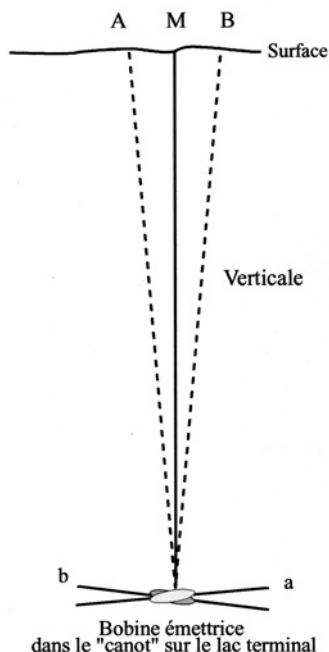


Figure 09

sera d'assurer la verticalité du forage. En 1998, pour contrôler la première partie de ma topographie, un forage de 280 mètres avait été réalisé au-dessus du puits de 43 mètres. Il y avait eu une déviation maximale de 8 mètres et le forage était ressorti à l'extrême limite de la paroi du puits. Après mesure spécifique de la déviation du forage, les contrôles donnaient à la topographie une précision inférieure au mètre. La méthode électromagnétique, beaucoup plus aisée et plus brève qu'une topographie de précision, a aujourd'hui remplacé cette dernière inexorablement. Les topographies souterraines de précision n'auront plus de raison que pour des jonctions de réseaux, mais jusqu'à quand ? ●

## Bibliographie

- D'HOLLANDER Raymond (1968), *Topographie*, IGN - ENSG
- COURBON Paul (1972), *La topographie spéléologique*, Spelunca 1972 n°2
- COURBON Paul, MARBACH Georges (1972), *Les levés topographiques et leur précision*, Spelunca 1972 n°2
- VANDEVINER R., (1989), *Localisation électromagnétique au réseau de Fresne* (Bel), Bull. Soc. Spél. Namur, pp. 16-20, (topo, biblio).
- SHOPE Steven (1991), *A theoretical model of radio location*, NSS Bull. vol. 53 n°2, pp.83-88 (6 fig.)

DELPY André (1992), *Emission-réception électromagnétique appliquée à la localisation depuis la surface des galeries accessibles du karst*, Actes du XIX<sup>e</sup> Congrès Nat. de Spél. Montpellier 1991, Spelunca mémoires n°19 pp. 101-105 (3 fig.)

LISMONDE Baudouin (1992), *Repérage magnétique au Réseau Christian Galthier*, Scialet n°21, pp.81-83 (topo).

BEDFORD Mike (1993), *An introduction to radio location*, CREG Journal n°14, pp.16-18.

LAUGHER Steve (1995), *The use of VHF/UHF to help in locating dig points*, CREG Journal n°19, p.3 (fig.)

SOULIER Michel (1995), *Première mondiale à Lavayssière ? Spélé Oc n°72*, p.17 (photo).

GIBSON David (1996), *How accurate is radio location?* Cave and karst Science vol. n°2, oct. 96, pp.77-80 (fig.)

COMATY T., COURBON P., JABBOUR-GEDEON B., ZAATAR J. (2001), *Radio localisation dans le Gouffre de Qattine Azar*, The Proceedings of the Middle-East Speleology Symposium (Beyrouth)

DZIRI Farid (2002), *La balise de positionnement souterrain*, mémoire IUFM Midi-Pyrénées, Toulouse 2002.

## ABSTRACT

**Key words :** Water supply, underground river, underground surveying, setting up, electromagnetic positioning (radio location), accuracy.

*Wasting, pollution, climatic modifications, urbanization and demographic explosion will generate a serious water scarcity in many countries, among them, the Middle East. In Lebanon, after the discovery of an important underground river, is established a water impounding project, needing a 280 meters drilling through limestone. The author, who had already realized successfully several drilling locations, describes the topographic method used to survey the cave and to set up the future drilling. The survey has been confirmed by an electromagnetic positioning ARCAS (radio location) perfected by Joan ERRA. The accuracy of the two determinations is estimated.*

# Le système de mesure 3D portable à bras six axes dans la métrologie des accélérateurs de particules

**Un instrument adapté à la mesure de la géométrie du nouveau dispositif expérimental de détection de rayonnements gamma installé au GANIL<sup>1</sup>**

■ Rémy BEUNARD, ingénieur géomètre DPE

*Les méthodes de mesures tridimensionnelles avec ou sans contact avec l'objet demeurent variées, mais le choix du système de mesure doit répondre aux exigences de précision tout en étant adapté au contexte expérimental. Cet article a pour but de présenter le système de mesure 3D portable à bras six axes associé au logiciel de calcul G-Pad<sup>®</sup> utilisé au GANIL lors du mesurage de la mécanique supportant le nouveau dispositif expérimental de détection de rayonnements gamma. Cet instrument permet le relevé de points dans les trois dimensions (XYZ) au moyen d'un capteur à contact. L'incertitude de mesure sur un point unique de l'objet est évaluée à  $\pm 0.2 \text{ mm}$  ( $k=2$ ). Notre choix a été motivé d'une part par la géométrie complexe de l'objet et d'autre part par l'environnement très défavorable à la mise en place d'une instrumentation conventionnelle. L'acquisition des informations dimensionnelles de l'objet s'est limitée à la mesure de plans et de cercles.*

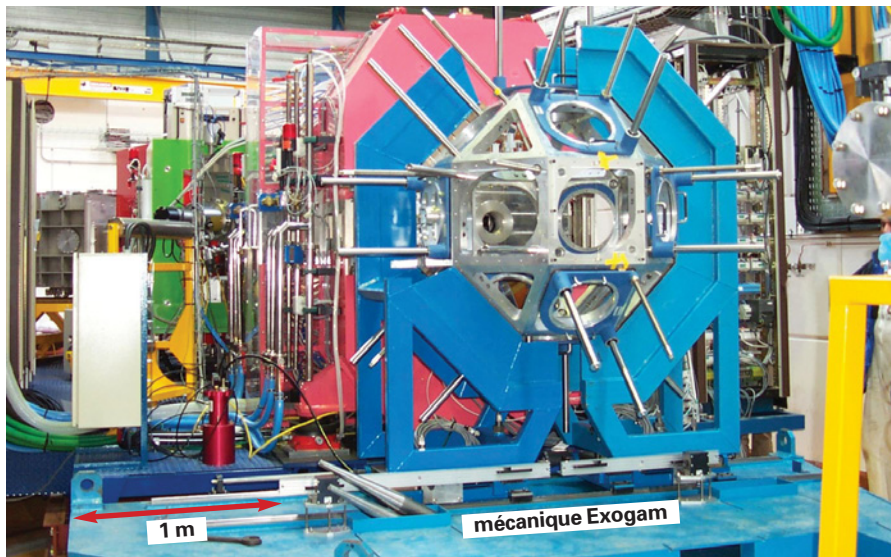
### ■ MOTS CLES

Coordonnée tridimensionnelle - écart-type - géométrie - métrologie - palpeur - référentiel - système de mesure 3D

**E**xogam est le nom du nouveau dispositif expérimental de détection de rayonnements gamma (fig. 1) installé au Grand Accélérateur National d'Ions Lourds (GANIL) à Caen. Il est composé de 16 détecteurs fonctionnant avec des cristaux de germanium hyper purs et assemblés dans une géométrie très compacte (fig. 3). Ce dispositif est dédié à l'étude de la structure des noyaux des atomes, ce qui est l'un des axes de recherche fondamentale du Ganil. Il détecte et mesure l'énergie des photons gamma.

Lorsqu'un noyau projectile du faisceau incident percute un autre noyau appartenant à une cible, le choc s'accompagne d'émission de fragments, de rayonnements et de particules. Pour identifier et/ou étudier les produits de réactions, des détecteurs sont placés autour de la cible (fig. 2).

Une des caractéristiques des détecteurs germanium est leur excellente résolution en énergie ( $> 0,2 \%$ ) ce qui permet



**Figure 1 : Mécanique Exogam couplée au spectromètre Vamos**

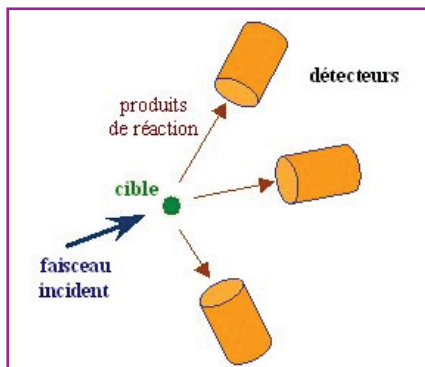
des études détaillées et précises de la structure des noyaux étudiés. Dans certains mécanismes de réaction, la vitesse de recul du noyau émetteur gamma peut être grande (jusqu'à 10 % de la vitesse de la lumière) ce qui induit un effet Doppler important. Les consé-

quences sont de deux ordres :

- une détérioration de la résolution en énergie des rayonnements mesurés (celle-ci dépend de la vitesse de recul et de l'ouverture angulaire des détecteurs) ;
- un déplacement des pics mesurés. ■ ■ ■

(1) GANIL : Grand Accélérateur National d'Ions Lourds





**Figure 2 : schéma de principe du système de détection**

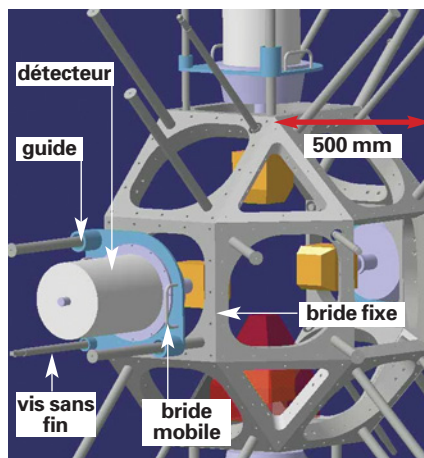
Pour corriger ce deuxième aspect, il est impératif de connaître avec précision la position angulaire des détecteurs de rayonnements gamma. Cette position est mesurée par le géomètre-métrologue qui fournira les coordonnées tridimensionnelles de chaque détecteur dans un système propre à l'objet. Les méthodes de mesures dimensionnelles avec ou sans contact demeurent variées, mais le choix du système de mesure doit répondre aux exigences de précision tout en étant adapté au contexte expérimental. Après une expertise des moyens existants, nous avons opté pour le système portable à bras de mesure six axes de la société ROMER, associé au logiciel de calcul G-Pad® (fig. 4). Il permet le relevé de points dans les trois dimensions XYZ au moyen d'un capteur à contact. La chaîne de mesure complète a été louée pour un essai. A ce stade, il a été utile d'analyser le coût d'une telle opération de métrologie.

Notre choix a été motivé d'une part par la géométrie complexe de l'objet et d'autre part par l'environnement très défavorable à la mise en place d'une instrumentation conventionnelle.

## Problématique

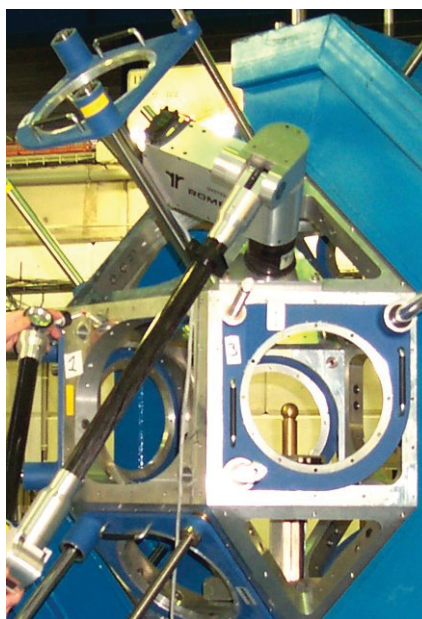
L'objectif à atteindre était l'acquisition des informations dimensionnelles de la structure telle qu'elle a été effectivement réalisée (Tel Que Construit) et en déduire les paramètres géométriques  $\rho$ ,  $\theta$  et  $\phi$  des détecteurs germanium implantés autour de la cible (fig. 5). Ces paramètres sont bien évidemment liés à la géométrie de la structure mais dépendent notamment de l'ajustement mécanique des brides mobiles sur les guides (fig. 3).

La situation idéale aurait été d'avoir à

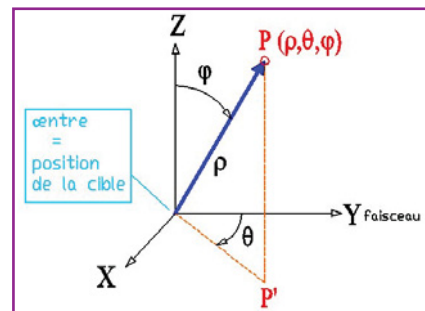


**Figure 3 : vue CAO éclatée de la structure équipée de 4 détecteurs**

notre disposition tous les détecteurs en place et de les mesurer directement. Mais cette opération n'a pas été réalisable : d'un côté par la disponibilité des détecteurs au moment de la mesure et de l'autre par l'inaccessibilité. Il a été décidé de calculer leur position effective à partir de la connaissance de la géométrie des brides mobiles qui est un des éléments essentiels dans la détermination des coordonnées finales. Au cours d'une expérience, la position du détecteur peut varier linéairement, ainsi deux points seront déterminés sur la normale issue du centre de la bride mobile. Ils correspondent aux deux positions extrêmes d'implantation du détecteur sur le guide.



**Figure 4 : fixation du bras de mesure 6 axes sur une des brides triangulaires de la structure**



**Figure 5 : système de coordonnées utilisé**

Le déplacement linéaire du détecteur se fait au moyen d'une vis sans fin.

Le souhait du physicien était avant tout de connaître les angles  $\theta$  et  $\phi$  des détecteurs par rapport à la cible à  $\pm 0.2^\circ$ . Une grandeur qui correspond à un angle sous lequel on voit un objet de diamètre 0,7 mm à une distance de 100 mm de la cible. Cette distance coïncide sensiblement avec l'implantation d'un détecteur au plus proche de la cible. A angle constant, le diamètre de cet objet varie proportionnellement en fonction de son éloignement de la cible. Si nous considérons cette grandeur de  $\pm 0.2^\circ$  comme l'écart maximal toléré, l'écart type de l'instrument de mesure ne devra pas dépasser :  $\pm 0.35 \text{ mm} / 2.66$  (loi normale) soit  $\sigma = 0.13 \text{ mm}$ .

## Principe de mesure des points 3D

Nous ne donnerons pas d'explications techniques sur la conception de cet instrument (fig. 4), qui sortent de nos compétences, mais il nous semble intéressant de le présenter rapidement de manière à faciliter la lecture de cet article. Nous renvoyons le lecteur vers le site Web de la société ROMER à l'adresse électronique suivante : [www.romer.fr](http://www.romer.fr).

Cette instrumentation est d'une grande adaptabilité. La conception du bras permet une utilisation dans de multiples positions grâce aux six axes de rotation. La mesure peut démarrer sans travaux de géométrie au préalable. L'intérêt du système associé au logiciel est de traiter directement des entités géométriques comme le cylindre, le plan, les facettes, etc. L'extrémité du bras est équipée d'un capteur avec contact donnant directement les coordonnées tridimensionnelles.

nelles du point palpé après validation de la mesure. L'originalité du système est la possibilité donnée à l'opérateur de contrôler le pointeur de l'ordinateur. Cela lui permet de commander le clavier virtuel, les différents menus et paramètres du logiciel. L'écart type expérimental donné par le constructeur sur un point unique pour ce bras équipé de codeurs de haute résolution à incrémentation est de 0.07 mm avec une incertitude de mesure évaluée à  $\pm 0.14$  mm ( $k = 2$ ).

## Mise en œuvre de la chaîne de mesure

La préoccupation principale a été de placer judicieusement le bras de mesure sur la structure de manière à limiter le nombre de stations à deux. Deux brides opposées ont été choisies (fig. 4). Après une initialisation des axes et l'ouverture des fichiers, l'opération de mesure peut démarrer. A ce stade nous pouvions déterminer un référentiel fixe ou quelconque. La deuxième solution a été retenue d'une part par la simplicité de sa mise en œuvre et d'autre part par la possibilité de changer par la suite les paramètres géométriques de ce référentiel. Le déplacement du bras sur la deuxième station est une opération assez délicate dans le sens où il faut rester dans un référentiel unique pour l'ensemble des mesures. Pour ce faire, la méthode consiste à allouer des coordonnées théoriques à un ensemble de points, au moins trois, mesuré précédemment. Le logiciel ajuste les valeurs théoriques à l'ensemble de points mesurés en réduisant l'écart sur tous les points. Si l'écart type est supérieur à la valeur choisie a priori, la mesure est rejetée. Les coordonnées définitives ont été exprimées dans un système propre à l'objet après transformation 3D. La précision atten-

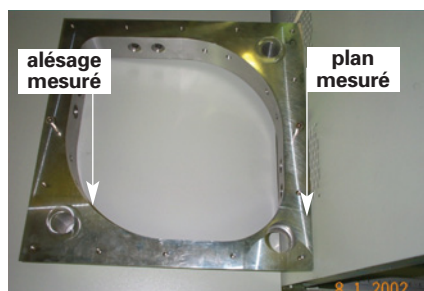


Figure 6 : vue d'une bride fixe (un des éléments composant la structure)

due sur la mesure de chaque point en tenant compte du déplacement du bras a été estimée à  $\sigma = 0.10$  mm. Cet écart type qui caractérise la précision est en accord avec le cahier des charges.

## L'objet à mesurer

L'objet à mesurer est composé de brides dont nous voulions connaître les paramètres géométriques.

### ■ Contrôle de la géométrie de la structure

Ce premier contrôle a permis de définir la géométrie de l'objet et de valider l'assemblage des 18 brides de la structure. Afin de définir le centre géométrique d'une bride, il a été nécessaire de relever une série de points (au moins trois) sur la face et à l'intérieur de l'alésage de manière à projeter le centre de celui-ci sur le plan (fig. 6). A tout moment nous avons pu suivre l'évolution de la mesure par l'affichage du sigma et, l'annuler en cas d'anomalie.

La connaissance des coordonnées cartésiennes de deux brides opposées a permis d'évaluer un centre provisoire. Le vrai centre a été fixé en prenant la moyenne arithmétique des coordonnées des huit centres définis précédemment. Le paramètre  $\rho$  moyen obtenu est de 483.08 mm pour une valeur théorique de 482.84 mm. Les écarts angulaires

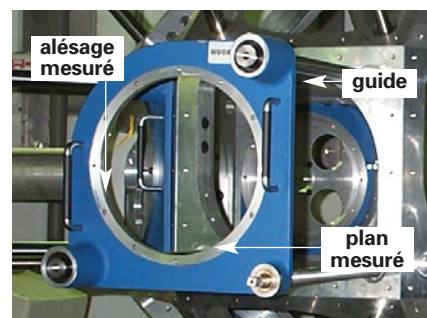


Figure 7 : vue de la bride mobile en position reculée sur son guide

thêta et phi maximum constatés sont respectivement de  $-0.06^\circ$  et de  $+0.08^\circ$ . Ces valeurs indiquent que l'objet construit est proche de sa définition théorique (table 1).

### ■ Relevé tridimensionnel de l'alésage interne des brides mobiles recevant les détecteurs germanium

La position tridimensionnelle des brides mobiles recevant les détecteurs a été mesurée en deux points correspondant au déplacement extrême du détecteur sur son guide support (fig. 7). Le principe de mesure utilisé au chapitre précédent a été réitéré pour cette opération. Les écarts angulaires thêta et phi maximums constatés au niveau du centre de la bride mobile par rapport aux angles théoriques sont respectivement de  $+0.06^\circ$  et de  $+0.07^\circ$ . Ils se rapprochent des valeurs observées lors du mesurage de la structure. Nous ne présentons pas la table.

### ■ Calcul de la position tridimensionnelle des détecteurs à partir de la connaissance de la géométrie des brides mobiles

La partie sensible du détecteur correspond à un point calculé sur la normale issue du centre de la bride mobile à une distance de 390 mm. Il faut préciser que les coordonnées de ce point sont provisoires. Elles seront ajustées des erreurs de positionnement du détecteur par rapport à son axe mécanique.

La table 2 (vue partielle) nous présente les coordonnées sphériques de chaque point calculées depuis le centre de la structure. Si les faces des brides mobiles étaient scrupuleusement parallèles aux brides fixes, nous devrions retrouver les mêmes angles thêta et phi que ceux mesurés lors du contrôle de la structure (colinéarité des vecteurs). C'est à ce

Objet centre bride face extérieure	$\rho$ (m)	$\theta^\circ$ (décimal) sens horaire	$d\theta$ P/R au théorique	$\varphi^\circ$ (décimal)	$d\varphi$ P/R au théorique
Bride 1	0.48302	359.940	- 0.06	44.992	-0.008
Bride 2	0.48299	225.003	+ 0.003	89.996	-0.004
Bride 3	0.48325	134.954	- 0.046	89.977	-0.023
bride 4	0.48295	179.987	- 0.013	44.984	-0.016
bride 5	0.48326	90.000	0	90.000	0
bride ...					

Tableau 1 : résultat des mesures de la position tridimensionnelle des brides composant la structure (table partielle)

■ ■ ■ niveau que nous allons découvrir les défauts d'orientation des brides. L'analyse de l'ensemble des données permet de conclure à une faible rotation des brides mobiles. Cependant, nous remarquons dans la table 2 des écarts plus importants sur les points calculés en position avancée. Après examen, le problème observé a été occasionné par une contrainte mécanique sur la vis sans fin à l'approche du point de contact sur la structure. Cette anomalie sera à corriger.

## Récupération des données dans un logiciel de dessin

Les données issues du logiciel G-Pad® ont été exportées vers le logiciel de dessin Autocad®. La figure 8 nous montre un dessin en trois dimensions représentant les objets mesurés.

## Conclusion

L'intégration de nouvelles technologies dans nos laboratoires est nécessaire et permet de faire évoluer de façon significative la mesure et par-là même l'expérimentation. L'utilisation de cette chaîne de mesure a permis un gain de temps notoire par rapport à des méthodes de topométrie conventionnelles : angles et distances. L'avantage du procédé est l'utilisation d'un seul instrument, et par conséquent un seul observateur peut procéder aux opérations de mesures. Il faut noter que ce système est limité aux petits objets (<5 m) avec assez peu de points à relever.

Au travers de cet exemple nous avons voulu montrer que les moyens mis en œuvre par des méthodes non habituelles en métrologie des accélérateurs, sont tout à fait adaptés à notre domaine d'intérêt. Nous voyons qu'il est primordial d'associer le géomètre à la réflexion ou à l'étude bien en amont de la mesure dans un souci d'atteindre, *in fine*, la qualité. Il doit donc fournir la solution la mieux adaptée parmi l'ensemble des outils existants dans le laboratoire ou sur le marché. Son rôle de mesureur doit se poursuivre aussi lors de la phase d'analyse et d'exploitation des données en conseillant le physicien ou le chef de projet. ●

## Contact

Rémy BEUNARD, beunard@ganil.fr  
GANIL – CEA/CNRS – www.ganil.fr

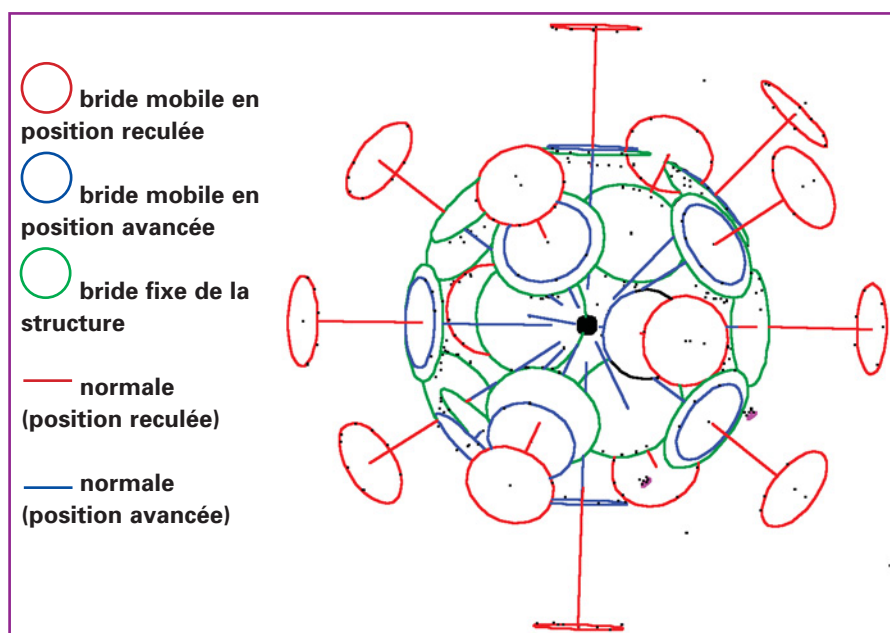


Figure 8 : dessin 3D de la structure Exogam représentant les mesures exportées vers le logiciel Autocad® via l'interface IGES

Objet position théorique du détecteur	$\rho$ (m)	$\theta^\circ$ (décimal) sens horaire	$d\theta$ P/R au théorique	$\varphi^\circ$ (décimal)	$d\varphi$ P/R au théorique
Norm 1 avant	0.1044	0.087	+ 0.087	45.124	+0.124
Norm 1 arrière	0.4416	359.927	-0.073	45.067	+0.067
Norm 2 av	0.1044	224.919	-0.081	89.838	-0.162
Norm 2 arr	0.4523	224.995	-0.005	89.884	-0.116
Norm 3 av	0.1049	135.242	+0.242	90.303	+0.303
Norm 3 arr	0.4539	135.023	+0.023	90.028	+0.028
Norm 4 av	0.1048	180.069	+0.069	44.881	-0.119
Norm 4 arr	0.4528	179.972	-0.028	44.945a	-0.055
Norm 5 av	0.1043	180.153	+0.153	134.659	-0.341
Norm...					

Tableau 2 : résultat du calcul tridimensionnel d'un point sur la normale à une distance de 390 mm du centre de la bride mobile (table partielle)

## ABSTRACT

**Key words :** Three-dimensional coordinate - standard deviation - geometry - metrology - sensor - reference - system of measurement 3D

*The methods of three-dimensional measurements with or without contact with the object remain varied, but the choice of the measurement system must meet the requirements of precision while being adapted to the experimental context. The purpose of this paper is to present the portable system of 3D measurement - of the six axis arm associated with the computation software G-Pad® used at GANIL during the measuring of the mechanics supporting the experimental device for detection of gamma rays. This instrument allows the measurement of points in three dimensions (XYZ) by means of a sensor contact. The uncertainty of measurement on a single point of the object is evaluated within +/- 0.2 mm (k=2). Our choice was justified on the one hand by the complex geometry of the object, and on the other hand by the very unfavourable environment for installation of conventional measurement tools. We limited the acquisition of data to the measurement of planes and circles.*



# Cartographie à grande échelle en zone interdite : l'alternative des satellites à résolution métrique

■ Lionel LAURORE - Geoimage

*Quel que soit le domaine d'application considéré (urbanisme, aménagement du territoire, télécommunication...), la cartographie à des échelles variant du 1/2 500<sup>e</sup> au 1/10 000<sup>e</sup> passe le plus souvent par la réalisation d'une campagne d'acquisition de photographies aériennes, en général en mode analogique et plus récemment également numérique. Mais quelle réponse peut-on apporter lorsque, comme cela est le cas pour un grand nombre de territoires, il est extrêmement difficile voir impossible d'obtenir d'autorisation de survol. Les satellites à résolution métrique ou quasi-métrique permettent d'apporter une alternative opérationnelle et économiquement compétitive à ce dilemme.*

Jusqu'à la fin des années quatre-vingt-dix, les meilleurs satellites civils d'observation de la Terre ne proposaient pas d'images à des résolutions meilleures que 10 m pour les satellites français de la gamme Spot ou 6,25 m pour le satellite indien IRS. Il faut attendre le début de l'année 2000, pour qu'après plusieurs échecs de mise en orbite, le satellite nord-américain Ikonos, opéré par la société Space Imaging, propose les premières images commerciales de la Terre à 1 m de résolution ; suivi fin 2001 par le satellite, également nord-américain, QuickBird à 60 cm de résolution. Ces deux systèmes, en plus de fournir des images à une résolution très élevée, disposent tous deux de capacités de prise de vue stéréoscopiques permettant l'extraction de l'information de relief du terrain ainsi que la hauteur de tous les éléments du sursol (bâtiments, forêts...).

Les avantages de ce type de données par rapport à la photographie aérienne sont tant logistiques que techniques. En effet, l'utilisation de systèmes satellites permet de s'affranchir des problèmes d'autori-

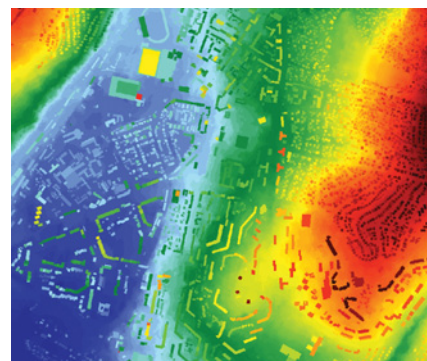
sation de vol propres aux systèmes aéroportés et rédhibitoires dans un grand nombre de pays, mais également de toutes les autres contraintes logistiques liées à l'acheminement, à la mobilisation, voire à l'immobilisation pour raison climatique du système sur site.

Sur un plan un peu plus technique, il faut, par exemple une image monoscopique ou pour des applications photogrammétriques, un couple d'images stéréoscopiques (Ikonos ou QuickBird) pour cartographier une zone de 150 à 200 km<sup>2</sup> alors qu'une vingtaine de couples de photographies aériennes est nécessaire pour cartographier une surface similaire à la même échelle. A l'avantage de l'imagerie satellite à résolution métrique, il faut citer la caractéristique géométrique de ces images d'offrir des prises de vues obliques pour la constitution de couples stéréoscopiques où tous les points d'un territoire sont vus quasiment sous un même angle de visé. En d'autres termes, l'effet de dévers des éléments de sursol (immeubles, arbres...) est identique en tout point de l'image alors

que pour les photographies aériennes celui-ci varie fortement d'un bord à l'autre d'une image, rendant les travaux d'assemblage ou mosaïque de photographies aériennes numérisées extrêmement fastidieux et difficile. En réduisant le nombre de données à traiter et en simplifiant le processus de traitement, l'imagerie satellite à résolution métrique, en plus des avantages déjà cités, permet d'offrir l'accès à une information topographique dans des conditions de délais et de coût plus réduites.

Dans la suite nous illustrons au travers de quelques projets opérationnels ou études probatoires les apports de la très haute résolution satellite.

Afin de valider l'apport de telles sources, dès août 2000, nous avons réalisé une étude de faisabilité sur l'extraction du bâti à partir d'un couple d'images à 1 m de résolution du satellite Ikonos. La précision altimétrique du MNE (Modèle Numérique d'Elevation) ainsi extrait présentait un écart type de 2 m par rapport au données de la BD topo de l'IGN. Une campagne de relevés terrain a permis de confirmer ce niveau de précision obtenu ■■■

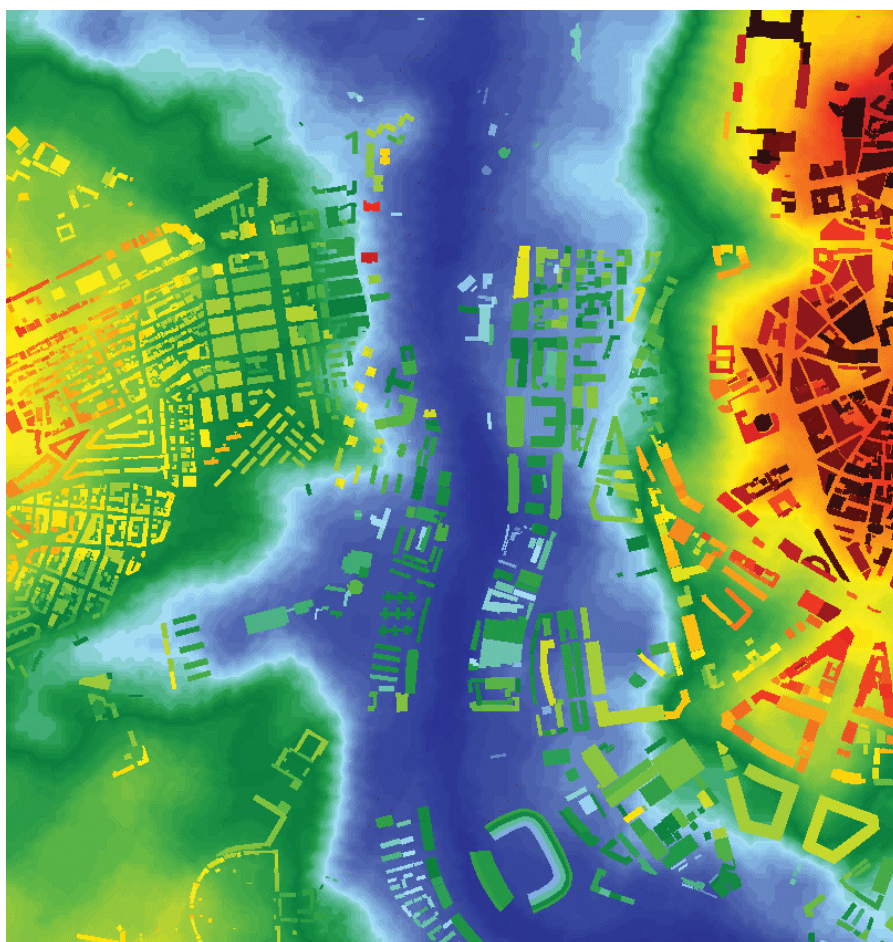


MNE : extrait sur le centre urbain de Pristina.





Vue 3D du centre de Pristina réalisée à partir du MNE et de l'image Ikonos.



MNE : extrait sur le centre urbain de Madrid.



Vue 3D du centre de Madrid réalisée à partir du MNE et de l'image Quickbird.

à partir d'un couple d'archive non spécialement programmé pour offrir les meilleures conditions d'angle de visée. Fin 2001, toujours à partir de données Ikonos, les MNT et MNE de la ville de Pristina ont été réalisés pour le compte des opérateurs Kosovo Telecom et Monaco Telecom. La précision des produits s'est avérée conforme aux premiers résultats obtenus sur Marseille à savoir 2 m dans les trois dimensions. Compte tenu du contexte politique, il était alors hors de question d'envisager la mise en place d'une campagne aérienne. La solution satellite à très haute résolution est apparue comme la seule option possible. L'ensemble de l'étude a été réalisé dans un délai de 5 semaines, acquisition des images Ikonos d'archive comprise.

En février 2002, à la demande de la société Eurimage, distributeur en Europe des données du satellite Quickbird, nous avons réalisé un test identique sur le centre ville de Madrid à partir d'un couple stéréoscopique d'images panchromatiques Quickbird à 60 cm de résolution.

Compte tenu de leur résolution et des caractéristiques de prise de vue dans des conditions optimum, les données Quickbird permettent la réalisation de travaux de photogrammétrie, notamment en ce qui concerne l'extraction du bâti, avec une précision meilleure que 50 cm.

En août de la même année, nous avons intégré une image Quickbird acquise en 2002 dans un processus de mise à jour d'une base de données métrique réalisée initialement par l'IGN sur la ville de Luxembourg. Aucun couple n'étant





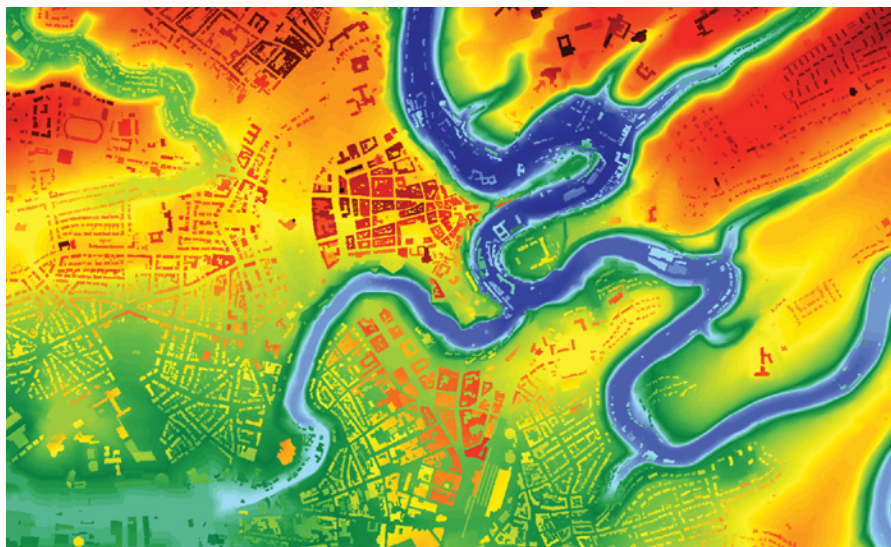
**Extrait Ortho-image QuickBird sur Luxembourg.**

disponible sur cette zone, les hauteurs des nouveaux bâtiments ont été extraites en tenant compte de la longueur de leur ombre portée. Ce processus avait été au préalable calibré à partir des bâtiments existants dans la base initiale de l'IGN Luxembourgeois (datant de 1997). Plus de 10 % d'objets nouveaux ont été ajoutés par ce procédé soit environ 2 000 bâtiments. Compte tenu des contraintes du client, l'opérateur Orange, l'acquisition de l'image et la réalisation du MNE a été réalisée dans un délai d'un mois. La totalité de la zone d'intérêt du client était également couverte par une seule image Quickbird.

En mai 2002, la société Spotimage a lancé le satellite Spot 5, doté comme ses prédécesseurs de capacités stéréoscopiques (visée latérale ou perpendiculaire à la trace), mais proposant des images en mode panchromatique à une résolution de 2,5 m (au lieu de 10 m pour ses prédécesseurs). De telles images permettent de produire des MNT (Modèles Numériques de Terrain) ou des MNE d'une précision de 1,5 m pour un B/H de 1. Début 2003, nous avons



**Extrait Ortho-image Spot5 sur Pékin**  
Incrustation du contour de bâti extrait sur les deux images du couples (resp. en rouge et vert).



**Extrait du MNE mis à jour sur Luxembourg.**

entamé la réalisation d'un MNE sur la ville de Pékin à partir d'un couple stéréoscopique disposant d'un B/H de 0,6. La Chine fait partie des pays où il est impossible d'accéder à toute information cartographique locale (cartes, campagnes aériennes, relevés GPS,...). De plus, en raison de la taille des agglomérations, une couverture totale et homogène de celles-ci à partir des images des satellites évoqués précédemment peut s'avérer difficile en raison de la périodicité assez faible de ces satellites. En revanche, Spot 5 avec une fauchée de 60 km permet de couvrir en deux passages seulement (un par image du couple stéréoscopique) pratiquement n'importe quelle grande agglomération de la planète. Dans le cas de Pékin, les deux images Spot 5 utilisées ont été acquises à 1 jour d'intervalle. Les bâtiments ont été extraits avec une précision altimétrique de l'ordre de l'étage (2,5 m), ce qui est suffisant pour les besoins liés

au développement des réseaux de téléphonie mobile. Plus généralement, les données Spot 5 sont parfaitement adaptées à la réalisation de plans topographiques à l'échelle de 1/10 000°.

Sans diminuer l'intérêt de l'usage de la photographie aérienne dans nos régions où les contraintes de survol d'une zone sont plus souples mais également dans le cadre de projets à des échelles plus élevées (1/1 000 ou plus précis encore), l'imagerie satellite à très haute résolution (0,6 m à 2,5 m) représente non pas une simple alternative technique et financière mais très souvent la seule et unique option technique pour cartographier des territoires où l'information géographique et tous les moyens pour l'acquérir ou la mettre à jour sont inaccessibles pour des raisons de sécurité nationale. ●

## Contact

[www.spaceyes.fr](http://www.spaceyes.fr)



**Vue 3D de l'extrait Spot 5 à 2,5 m sur Pékin.**



# Géodésie géométrique ou géodésie physique

■ Claude MILLION

*Lorsqu'il existe une distance trop importante entre un chantier et le référentiel sur lequel seront menés les calculs, les mesures faites sur le plan devront être corrigées d'un coefficient d'échelle avant leur utilisation par les donneurs d'ordre : Architectes, Ingénieurs, etc., lesquels ne sont pas habitués à rencontrer de telles contraintes dans leur travail de tous les jours. De ce fait, ils imposent souvent que les mesures soient rapportées à l'altitude moyenne du chantier.*

*Des Universitaires ont objecté qu'il existait des logiciels du commerce qui calculent très bien ces corrections. En dehors du fait que ces potentialités ne sont apparues que très récemment, rien n'indique que leur usage soit facile sur le chantier, de nombreux exemples semblent prouver le contraire.*

*On propose de calculer les point de base GPS connus ou mesurés en latitude et longitude dans deux systèmes, l'un proche du chantier, l'autre conforme à la réglementation, soit Lambert 93.*

*Les plans seront établis dans le système du chantier, puis, en fin de travaux, les coordonnées locales seront traduites en coordonnées Lambert 93 par une transformation polynomiale conforme de degré approprié.*

*La représentation locale plane conforme proposée est la Projection Stéréographique. Si le chantier est petit, la transformation se réduit à une translation rotation et mise à l'échelle du premier degré.*

**I**l y a peu de temps encore tous les calculs topométriques étaient menés en utilisant un référentiel bidimensionnel (2D) pour exprimer les positions horizontales, et l'altitude pour la troisième dimension. Comme l'altitude était rapporté à une surface courbe, il n'était pas possible de combiner les coordonnées verticales et horizontales dans un système cartésien tridimensionnel (3D) sans sacrifier l'unicité de la définition, et sa cohérence, sur de grandes distances.

Certes, dans les dimensions d'un ouvrage de génie civil, ou à l'échelle d'un bâtiment, même grand, il était souvent possible de faire la confusion, d'autant que cette coupure correspondait à un phénomène physique très net : Si aux frottements près, on déplace un corps pesant dans le référentiel horizontal, sans dépenser d'énergie, en revanche, on dépense de l'énergie, ou on en récupère, si on le déplace verticalement. Toutes les activités qui touchent au Génie Civil, et si on réfléchit bien, toutes les activités humaines, sont extrêmement sensibles à ce fait. Elles sont liées à cette surface qui pourrait être le géoïde, mais le plus souvent elles l'ignorent, elles sont liées à une équipotentielle particulière passant à l'altitude moyenne du chantier

À l'opposé, les mesures GPS sont rapportées à un référentiel unique XYZ axé sur le centre de masses de la terre et apparaissent comme parfaitement cohérentes à toute distance. Ce qui est tout à fait exact, sinon qu'on ne voit pas comment un

ouvrage de Génie Civil pourrait gagner à utiliser ces coordonnées à l'état brut. On ne le fait d'ailleurs pas.

On remplace le système XYZ par son mauvais "clone" composé de la longitude la latitude et de la hauteur au-dessus d'un ellipsoïde de référence mondial. Techniquement, les coordonnées géographiques longitude et latitude sont rapportées à ce même ellipsoïde de référence, lequel n'a pourtant que peu à voir avec une surface horizontale physique, celle que donnerait un niveau mis en station sur place par un architecte ou un géomètre de chantier par exemple ; certes, il est assez proche d'une équipotentielle, mais c'est une création intellectuelle destinée à dresser des cartes mondiales, la géodésie, la géophysique, les applications astronomiques et hydrographiques, et à atteindre des quantités d'autres objectifs, voir les attendus de [1], tous fort louables en soi, mais ils n'ont rien à voir avec les problèmes spécifiques du Génie Civil.

Décrire la position 3D d'un point à l'aide de ses coordonnées géographiques est rendu difficile par l'ambiguïté qui subsiste sur la surface de référence. Bien entendu le passage des coordonnées 3D aux coordonnées longitude latitude et hauteur au-dessus de l'ellipsoïde, et la transformation inverse sont des opérations purement géométriques qui se font sans la moindre perte de précision, mais à quel prix sur le plan de la réalité physique !

■ ■ ■

■ ■ ■ La seule surface de référence naturelle, qui ait une réalité physique, est la surface de niveau perpendiculaire à la direction du fil à plomb, ou si l'on veut celle donnée en un point par un niveau à bulle ou tout dispositif pendulaire équivalent.

Dans la mesure où on ne combine pas les coordonnées horizontales et la coordonnée verticale on conserve la cohérence et l'unicité de définition de chaque système. Ce que ne fait pas le référentiel de GPS, c'est donc un système qui, contrairement à ce qu'il affiche, n'a ni unicité, ni cohérence physique, tout en ayant, mais géométriquement seulement, ces mêmes qualités, lesquelles sont inutiles à l'utilisateur qui "rampe" sur le géoïde.

## Les coordonnées latitude et longitude de GPS

Par définition, les coordonnées 3D du point sont projetées perpendiculairement sur l'ellipsoïde de référence et forment avec sa normale deux angles, l'un compté à partir de l'équateur de direction Sud Nord sera la latitude, l'autre sera l'angle dièdre entre le plan de la projection et la direction origine des longitudes, qui n'est pas tout à fait l'ancien référentiel de Greenwich, égal à la longitude, avec une controverse Anglo-Saxons contre Européens, sur le sens de mesure de cet angle ! Voir Figures 1 et 2.

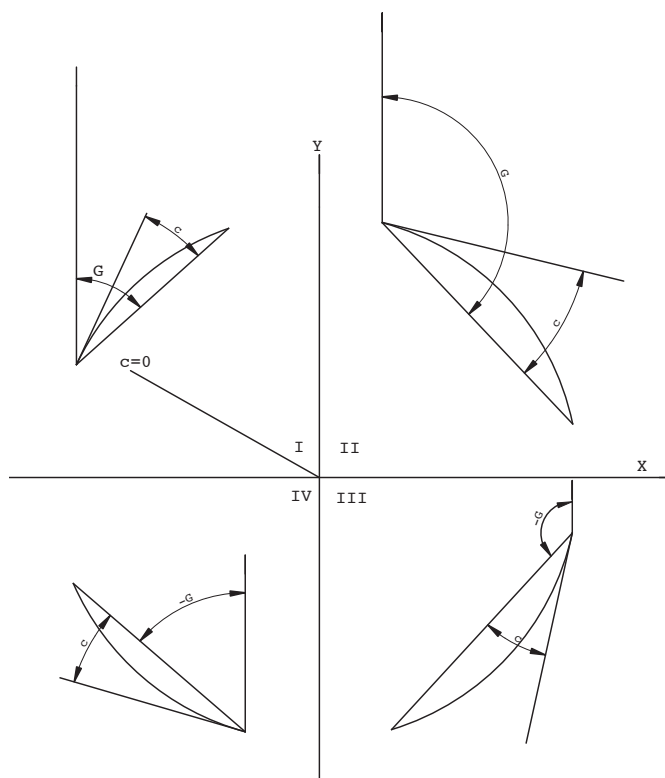


Figure 1

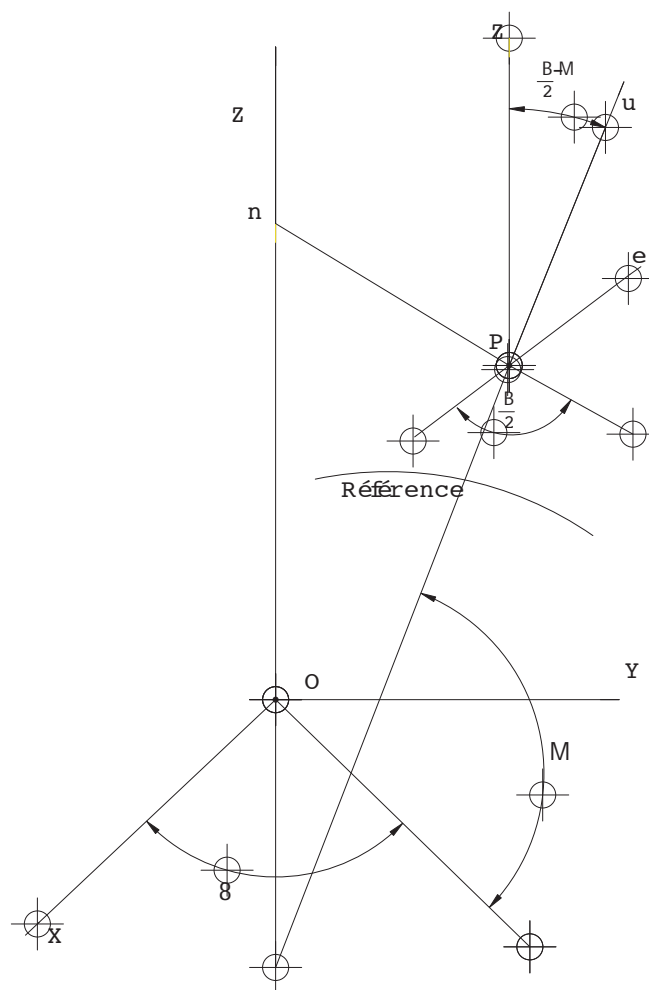


Figure 2

Ceci a pour conséquence que, comme les verticales sont, sensiblement, des arcs d'hyperboles, ou sont plus exactement les directrices d'hyperboloïdes de révolution ; selon la définition ci-dessus, deux points situés sur la même verticale n'auront pas, sur l'ellipsoïde de référence, la même latitude, ils auront donc deux représentations distinctes sur le même référentiel horizontal, par conséquent on notera une distance horizontale entre deux points situés sur la même verticale physique ! Voir la figure 1 très déformée pour bien mettre le phénomène en évidence. Ceci s'ajoute au fait que l'ellipsoïde n'est pas une surface équipotentielle ayant un intérêt pour le Génie Civil car souvent trop éloigné du géoïde, ou de l'altitude du chantier. Évidemment, l'ellipsoïde de référence étant de révolution, comme le sont les équipotentielles théoriques, aucun problème de ce genre ne se pose pour les longitudes.

Les familles d'ellipses méridiennes ayant les mêmes foyers sont celles des équipotentielles théoriques, situées au-dessus ou en dessous de l'ellipsoïde de référence GRS 80. En chaque point de l'espace, et en particulier sur un point moyen de votre chantier, passe une surface équipotentielle qui est liée à l'ellipsoïde de référence par cette relation d'homofocalité. Une famille de courbes orthogonales aux précé-

dentes sont les verticales. Ce sont des hyperboloïdes de révolution, ayant également les mêmes foyers que les ellipses. Le lieu des foyers, qui forment un cercle dans le plan de l'équateur, est commun aux deux familles de courbes, équipotentielle et verticales, voir [2] qui constitue toujours, malgré son grand âge (1967), la bible de la géodésie physique. On remarquera que les latitudes des points varient le long des verticales, d'où l'intérêt de bien définir le référentiel sur lequel on s'appuie ; mais bien sûr rien de tel pour les longitudes qui pourraient être définies sans faire référence à une équipotentielle particulière, par exemple en projetant le point sur le plan équatorial.

## Référentiel légal ou référentiel du chantier

On a souvent évoqué la différence fondamentale qui existe entre deux activités du topographe : La première consiste à faire des plans et cartes qui seront mises à la disposition du public en général à un prix ne représentant qu'une fraction minime de leur coût, chacun pense aux cartes éditées par l'IGN, et aux plans à grande échelle du Cadastre, encore que ces derniers n'aient, "stricto sensu" qu'une finalité fiscale fréquemment hautement affirmée, du moins en France ; la seconde est l'établissement de documents semblables, mais avec une finalité proche, forte, et bien définie, qui vise à construire un ouvrage ou à recueillir des informations précises sur des points qui n'intéressent que le client, lequel paye la totalité du coût de l'établissement de ce document. Mais des dispositions légales lui impose d'établir au moins son canevas de base dans un référentiel légal qui peut être un handicap pour une conduite simple de ses opérations, notamment un ellipsoïde 50 m sous le géoïde local, induisant un défaut d'échelle de 50/6.371.008, et présentant des altérations linéaires et angulaires (dV) très fortes dans certaines régions (cf. Lambert 93 à Dunkerque et en Corse).

Les universitaires prétendent qu'il ne s'agit là que d'une question de génération et qu'il est facile de fournir les dimensions propres au chantier à partir de ces données lointaines. En dehors du fait que ces potentialités ne sont apparues que très récemment dans les logiciels du commerce, et que rien n'indique que leur usage soit facile au niveau des chantiers, des bureaux d'Architectes et d'Ingénierie, certains exemples semblent prouver le contraire.

Une enquête très complète avait été faite par l'American Society of Civil Engineers et publiée dans son journal spécialisé dans le domaine de la Topographie Appliquée au Génie Civil [3] appendice III. Il s'agissait d'interroger les différentes Agences des Ministères des Transports (DoT) des états des Etats-Unis sur leurs pratiques pour satisfaire les obligations légales de baser les plans et cartes établies pour le compte de leurs services dans le canevas de base imposé, qui n'était généralement pas très pratique pour un usage sur le chantier. En effet, au niveau du chantier, le client voulait pouvoir mesurer sur le plan qui lui était livré des quantités qui soient celles qui seraient réalisées et non des entités abstraites rapportées

à un référentiel général national ou mondial sans rapport avec ce qu'il ferait. Pour résumer en peu de mots les résultats de cette longue et minutieuse enquête on peut dire que les réponses majoritaires privilégiaient l'établissement d'un plan à l'altitude moyenne du chantier, avec un point central ayant des coordonnées uniques celles du système officiel, et *in fine* le calcul du canevas de base dans le système légal, enfin son archivage. Quelques résurrections étaient signalées à la frontière entre deux Etats. En fait, les transformations se réduisaient dans la majorité des cas à une mise à l'échelle et à une translation, variables suivant les zones de l'Etat en cause.

Plus récemment, un article rapporte la réalisation des plans de récolement du TGV Méditerranée, on note que le référentiel choisi n'est pas Lambert 93 qui, dans la zone, présente des altérations notables, mais Lambert III de la NTF beaucoup plus mesuré dans ses altérations, avec un ellipsoïde plus proche du géoïde [4] que GRS 80.

Ayant pratiqué, comme Ingénieur Civil, pendant plus de trente ans, les Travaux Publics, le Génie Civil, et la Construction, on peut attester que les raccordements au canevas général qu'on a pu commander aux géomètres n'avaient d'autre but que de permettre de réaliser des chantiers que les opportunités foncières dispersaient comme un "patch-work" dans le tissu des bidonvilles d'Outre-Mer à entièrement résorber. Ces raccordements, bien qu'établis à partir d'un réseau IGN très lâche, et assez médiocre en regard de nos besoins, tout en étant parfaits, et même surabondants pour la cartographie, furent très vite largement densifiés, ils ont évité des déboires importants pour les raccordements des axes majeurs des voies, mais ils n'ont été vraiment utiles que parce que les altérations de toutes sortes étaient largement inférieures aux erreurs de mesure des instruments utilisés alors sur les chantiers. En aucun cas il n'a été question de satisfaire à des obligations légales que les autorités, qui auraient dû les faire appliquer, ignoraient d'ailleurs totalement, de plus, les dimensions de l'île où se situaient ces ouvrages ne posaient jamais ce genre de problème !

Il ne s'agit pas de préoccupations artificielles. Certains ont été très loin pour que les représentations cartographiques restent les plus proches possibles des mesures réelles qu'on fait sur le terrain en évitant même la réduction au niveau de référence tel que le niveau moyen des mers, on peut citer le cas du Michigan en 1971, qui ne se trouve pourtant qu'à une altitude moyenne de seulement 800 pieds.

Plus récemment, en 1993, sous l'impulsion de l'auteur de [3], l'Etat de l'Orégon a défini un système local de coordonnées conservant les références fondamentales de GRS 80, mais en se donnant une valeur du grand axe de l'ellipsoïde de 6 378 452 m au lieu de 6 379 137 m, voir [5] et une excentricité très voisine de celle adoptée pour GRS 80, mais très légèrement différente, on reviendra plus loin sur le point du calcul de l'excentricité d'une équipotentielle. Des formules simples de passage de ce référentiel particulier à l'Orégon, au référentiel général des Etats-Unis NAD 83 essentiellement, étaient ajoutés un facteur d'échelle et une origine commune. ■■■



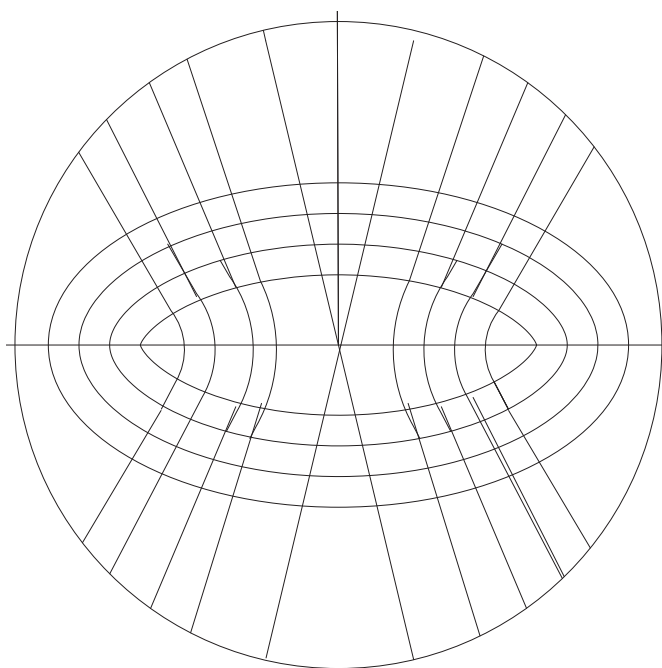


Figure 3 : familles d'ellipses et d'hyperboles homofocales

Il s'agit là de réalisations récentes auxquelles on ajoutera le réseau TransManche 1987 et le réseau particulier pour la traversée de l'Øresund entre le Danemark et la Norvège et sans doute bien d'autres dont on n'a pas encore eu connaissance.

### Le mélange des mesures

Les mesures spatiales faites par GPS, GLONASS, Doris et autres à venir, sont venues s'ajouter aux mesures traditionnelles faites au sol. Dès lors, s'est posé le problème du choix d'un référentiel commun pour calculer les réseaux composés de ces différentes mesures.

Enthousiasmé par [3] qui préconisait de faire tous les calculs dans le système tridimensionnel de WGS 84, on a largement sacrifié à cette tendance [6], en établissant des logiciels de démonstration pour les calculs de polygonation, intersection et relèvement – voir la fiche 1 – en tridimensionnel géocentrique, qu'on a largement diffusés, pour finalement déchanter faute de retours positifs des utilisateurs qui n'ont pas été intéressés.

En effet, dans ce référentiel qui fait la part belle aux mesures spatiales, chaque point stationné ne comporte pas moins de six inconnues :  $G_0, X, Y, Z, \Lambda, \Phi$ , voir notamment les équations dans [2], les deux dernières inconnues indiquant dans quelle direction pointe la verticale de la station par sa longitude et sa latitude, elles sont évidemment très corrélées avec  $X, Y$  et  $Z$ , ces dernières étant les trois coordonnées rectangulaires géocentriques, les résultats ne sont souvent pas très cohérents, probablement sous l'effet de la réfraction sur les distances zénithales, car les écarts sont très supérieurs à ce qu'on peut attendre des déviations des normales à l'ellipsoïde par rapport à la verticale – voir encore un exemple sur la fiche 1.

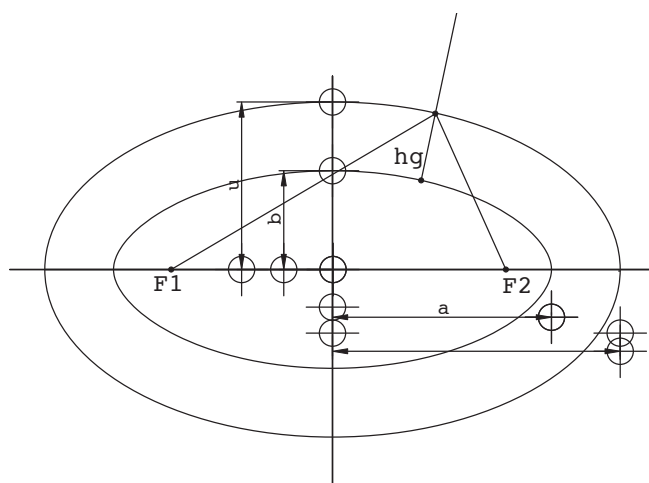


Figure 4

L'autre solution était de privilégier les mesures terrestres en se rapprochant du terrain et en transformant les mesures spatiales en leurs équivalents terrestres longueur développée sur une équipotentielle, ou sur le géoïde, distance zénithale, et azimut C'est ce qu'on propose. C'est ce qu'on a déjà fait dans [7] mais sur une surface qui n'était pas une véritable équipotentielle, tout en restant bien évidemment très proche.

### La définition d'une équipotentielle de référence

On va montrer comment calculer les caractéristiques d'une équipotentielle de référence attachée au chantier sur laquelle on pourra développer les longueurs mesurées au sol et dans l'espace, et qui servira de référentiel 2D. On éliminera ainsi tous les problèmes de projection orthogonale ou courbe puisqu'on "étalera" le vecteur DGPS sur cette surface, qui, bien que théorique, sera suffisamment proche d'une équipotentielle physique réelle pour que ce travail soit assez précis, mais en 2D seulement bien sûr. Bien entendu rien de tel n'est possible en 3D, pour cela il faut revenir à l'algorithme classique attribué à Helmert de projection orthogonale du point 3D sur l'ellipsoïde de référence ou de sa variante corrigée par Pizzetti. Les altitudes qu'on calculera seront conformes aux hypothèses qu'on s'est données, à savoir qu'elles seront rapportées à l'équipotentielle qu'on va définir. Mais on ne traitera pas ce problème ici.

Soit sur la figure 4 l'ellipsoïde de base est GRS 80 de grand axe  $a$ , et de petit axe  $b$ . On veut calculer les axes d'une ellipse homofocale située à une hauteur  $h$ , au point de latitude. La hauteur  $h$  peut être la somme :  $h = h_g + A_m$  composée de la hauteur du géoïde  $h_g$  et de l'altitude moyenne du chantier,  $A_m$  au point moyen du chantier, et à cette latitude  $\phi$ . On a,  $u \approx b + h \cdot (1 - e^2 \cdot \sin^2(\phi)) = b'$  puis  $a' \approx \sqrt{u^2 + E^2}$ , avec  $E$  excentricité linéaire fixée, dans GRS 80 [1], comme une constante dérivée, soit  $E = \sqrt{a^2 - b^2}$ , cette relation est la définition de cette constante qui vaut  $E = 521.854,0097$  m.

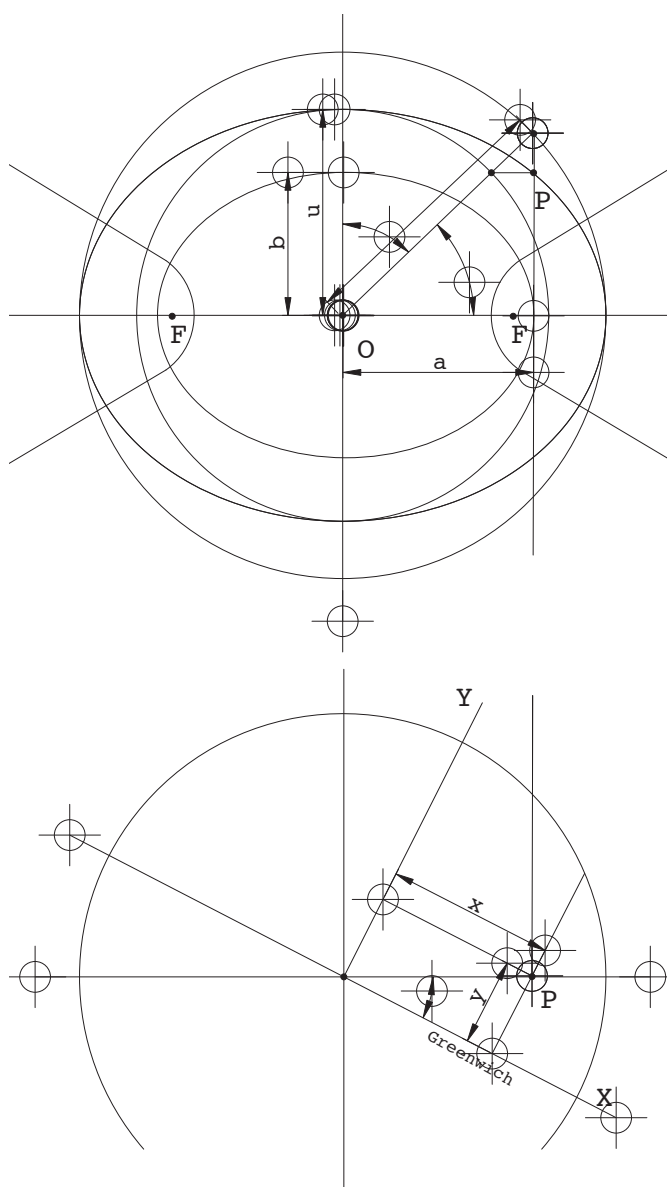


Figure 5 : Coordonnées ellipsoïdales

Comme la valeur de  $e$ , excentricité réduite, est celle de l'ellipsoïde de référence GRS 80, on la recalcule au niveau de l'équipotentielle locale  $h$ , soit :

$$e_h = e_h \sqrt{\frac{E^2}{a'^2}}, \text{ Puis on itère, } u \approx b + h \cdot (1 - e^2 \cdot \sin^2(\phi)) = b'$$

puis encore  $a' \approx \sqrt{u^2 + E^2}$ , éventuellement on répète,

$$e_h = e_h \sqrt{\frac{E^2}{a'^2}} \text{ on a alors } c' = \frac{a'^2}{u}$$

voir [2] et [7]. Mais, généralement, cela est superflu.

## Un peu de géométrie : les coordonnées ellipsoïdales

On introduit les coordonnées ellipsoïdales sur la figure 5 :  $u$ ,  $\theta$ ,  $\lambda$ , dans un système trirectangle géocentrique  $X, Y, Z$ .  $P$ , le point ; est sur un ellipsoïde de révolution quelconque, mais

homofocal, au référentiel Mondial GRS 80 de centre  $O$  d'excentricité linéaire  $E$ . La coordonnée  $u$  est le petit axe de l'équipotentielle.  $\theta$  est la colatitude réduite de  $P$ , complément de  $\beta$  la latitude géocentrique de  $P$ , et  $\lambda$  est la longitude dans son sens habituel. Les relations entre les coordonnées géocentriques de  $P$  :  $X, Y, Z$  et ses coordonnées

$$X = \sqrt{u^2 + E^2} \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\lambda)$$

$$\text{ellipsoïdales sont } Y = \sqrt{u^2 + E^2} \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\lambda)$$

$$\text{le demi-grand axe est } Z = u \cdot \cos(\theta)$$

$$a' \approx \sqrt{u^2 + E^2}$$

Pour construire un ellipsoïde homofocal on fait  $u'$  constante :

$$\frac{X^2 + Y^2}{u'^2 + E^2} + \frac{Z^2}{u'^2} - 1 = 0$$

cette équation représente un ellipsoïde de révolution. Deux paramètres essentiels : une constante dérivée  $E = O \rightarrow F1 = F2 \rightarrow O$  de GRS 80 et, seulement, un paramètre  $u$  propre au chantier. Si on fait  $\tan(\lambda) = \text{constante}$  on obtient un hyperboloïde à une nappe qui, recoupé par un plan méridien  $Y = X \cdot \tan(\lambda)$  donne l'équation de la verticale passant par  $P$ .  $\theta$  est l'angle de l'asymptote de la verticale en  $P$

$$\frac{X^2 + Y^2}{E^2 \cdot \sin^2(\theta)} + \frac{Z^2}{E^2 \cdot \cos^2(\theta)} - 1 = 0$$

Pour  $E = 0$  on retombe, évidemment, sur des coordonnées cylindriques.

## Le mélange des mesures

On sait que les praticiens sont assez attachés à leurs habitudes. Il serait possible, à ce stade de se passer de projection, et de travailler en coordonnées ellipsoïdales longitude et latitude d'autant, que la consultation des plans se fait, dans la majorité des cas, sur écran et que les cotes et toutes dimensions relevées (angles, cubes etc...) résultent d'un calcul interne fait par le micro-ordinateur qui affiche l'image.

Pour être réaliste, on préférera transformer les coordonnées bidimensionnelles des points GPS en coordonnées planes  $X$  et  $Y$  dans une projection qui servira de référentiel de calcul aux mesures terrestres. Le problème est de savoir laquelle choisir. En fait, dans [5], on n'a que l'embarras du choix, sauf une projection oubliée, mais pourtant bien utile pour les chantiers compacts, la projection stéréographique locale, très simple et pour laquelle la précision de calcul ne doit rien à des développements limités, c'est de la géométrie pure. On reviendra un jour sur ce sujet, tout à fait négligé dans cet ouvrage qui constitue, pourtant, une somme pratique considérable sur le sujet des projections.

Il faudra ensuite pour satisfaire aux obligations légales transformer toutes les coordonnées du chantier en coordonnées Lambert 93. Ceci est très facile si on prend les précautions suivantes : Il faut calculer les coordonnées géographiques des points GPS dans les deux systèmes de coordonnées géographiques, le RGF 93 et le système local du chantier. Les coordonnées RGF 93 seront transformées en Coordonnées Planes Lambert 93 et les coordonnées chantier dans une projection

conforme quelconque qui satisfasse le client sur une équipotentielle proche du chantier afin de ne pas trop en altérer les dimensions. Le client a bien d'autres sujets de préoccupations sur son chantier que de garder en tête que les dimensions de ses plans ne seront pas correctes, les visées non rectilignes, et qu'il devra, constamment, songer à les corriger !

Les points communs aux deux référentiels serviront à replacer tous les points du chantier dans le référentiel légal, et cela presque sans frais. Quatre points au minimum pour un développement au troisième degré, et six pour le cinquième, mais bien entendu il faut au moins disposer du double de ces nombres, ne serait-ce que pour se contrôler.

On a déjà donné les moyens de d'appliquer directement, en une seule opération, des coordonnées dans un autre référentiel [9]. On pourra trouver dans [10] les justifications théoriques complètes (Dans cet article on trouve tout ce qu'il faut savoir sur les projections). Ce dernier texte recommande d'utiliser des polynômes du cinquième degré pour des chantiers de 200 km par 200 km pour conserver le millimètre, on n'a pas dépassé le troisième degré dans [9], car on ne pense pas que de tels chantiers soient très courants. De toutes les façons, dans le logiciel établi en [9], il est facile d'augmenter le nombre des termes du développement.

## Conclusions

On a indiqué comment il était possible de rapprocher le référentiel du chantier afin que les mesures ne soient pas trop altérées et que, sur place, les plans représentent vraiment le terrain. On a indiqué qu'il était facile de satisfaire à la fois son client et les obligations légales résultant des récentes dispositions réglementaires prises sans trop se soucier des topographes et de leurs préoccupations quotidiennes mais qui, toutefois, avaient prévu le cas qui nous a intéressé. ●

## Références citées

- [1] **Helmut Moritz**, *Geodetic Reference System* –1980, Bulletin Géodésique.
- [2] **Weikko A. Heinskannen et Helmut Moritz**, *Physical Geodesy* – Reprint Institut of Physical Geodesy, Technical University, Graz, Austria, 1993. Le texte original est de 1967.
- [3] **Earl. F. Burkholder**, *Using GPS Results in True 3D Coordinates System in Journal*, in *Surveying Engineering* Vol 119, 1<sup>er</sup> février 1993.
- [4] **Stéphanie Beets**, *Bilan d'un levé de ligne à grande vitesse par profilomètre ferroviaire Adaptation au TGV Méditerranée*, XYZ n°88 septembre 2001.
- [5] **Maarten Hooijberg**, *Practical Geodesy Using Computers*, Springer Verlag 1997.

[6] **Claude Million**, *L'intersection 3D*, XYZ n°72, mars 1997 – *Tendances actuelles en matière de calcul des canevas de base*, XYZ n°78, janvier 1999.

[7] **Claude Million**, *Le développement du vecteur DGPS le long de la géodésique*, XYZ n°88, septembre 2001.

[8] **Pascal Willis et Claude Boucher**, *L'unification des références géodésiques. L'exemple du Tunnel sous la Manche*, XYZ n°62, 1995.

[9] **Claude Million**, *L'application d'un système de coordonnées dans un autre référentiel*, XYZ n°90, janvier 2002.

[10] **Jean-Jacques Levallois**, *Représentations conformes et adaptations*, XYZ n°64, mars 1995.

## ABSTRACT

*When a too long distance separates the altitude of the Surveyed Site or the geoid, and the Reference Ellipsoid of a Plane Projection, the measurements made on the plan must be corrected by a Scale Coefficient. The current users of the topographic Survey such as Architects, Civil Engineers, etc... who are not familiar with this fact, are very puzzled in their day to day practice by these corrections. Frequently, they ask, and impose, that the measurements made on the plan reflect the reality of their building site. It was objected that, now, on the shelf software computes these corrections. Apart from the fact that these potentialities appeared only very recently and that nothing shows that their use is easy on the level of the building sites, the offices of Architects and Engineering Offices, examples seem, moreover, to prove the opposite. We propose to transform the two-dimensional co-ordinates of the points G P S : , into plane co-ordinates X and Y in a projection which will be used as reference frame of computations for the measurements made on the ground. Then, Co-ordinates RGF 93 will be transformed into Plane Co-ordinates Lambert 93. The co-ordinate of the building site will be computed in a local Conform Projection which satisfies the customer, on an Equipotential Surface the closest as possible to the building site in order to alleviate the dimensions alterations. The Conformal Projection proposed is a local Stereographic Projection. At the end of the work the co-ordinates specific to the building site shall be converted into legal co-ordinates Lambert 93 by a polynomial transformation, four common points are at least necessary for a development to the third degree, and six for the fifth, but, of course, it is at least necessary to have the double of these numbers, to check the transformation.*



# Aux origines du cadastre général parcellaire français

■ Pierre CLERGEOT Maître de Conférences à l'Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes (ESGT - CNAM)

*Tout système cadastral reflète les tendances longues qui traversent les sociétés qui l'ont engendré. Sans remonter à des origines lointaines, les racines du cadastre français pénètrent tout le XVIII<sup>e</sup> siècle et s'étendent à divers pays européens. Cet éclairage historique nous permet aujourd'hui de mieux comprendre les orientations qui ont été prises, les choix qui ont été fait et le chemin parcouru. Cette connaissance du passé forge notre manière d'approfondir le présent, et nous prépare en tant que citoyen, à envisager l'avenir. Elle ne doit pas nous conduire à un enfermement qui s'appuierait sur le local mais au contraire à une ouverture sur l'universel. Elle doit nous servir de leçon pour les systèmes à mettre en place qui ne peuvent réussir que s'ils sont adaptés à répondre aux besoins, aux possibilités tant financières qu'humaines et aux droits réels des sociétés pour lesquelles ils sont faits. C'est dans cet esprit que nous allons appréhender l'histoire des origines du cadastre français. Je me suis principalement appuyé pour cet exposé sur les travaux de Mireille Touzery, Professeur d'histoire contemporaine à l'Université de Paris XII et d'Antonella Alimento, Professeur d'histoire moderne et moderne à l'Université de Pise (Italie). Je tiens également à mentionner le numéro 13 de l'annuaire d'histoire administrative européenne qui regroupe une série d'articles très intéressants sur les cadastres européens au XVIII<sup>e</sup> siècle.*

## La situation des cadastres en Europe au XVIII<sup>e</sup> siècle

Depuis quelques années nous assistons à la naissance des études historiques comparées entre les systèmes cadastraux européens. Auparavant cette histoire se limitait surtout au XIX<sup>e</sup> siècle et s'inscrivait le plus souvent dans un cadre national. La recherche historique actuelle nous ouvre de nouveaux horizons. Les racines de nos cadastres nationaux plongent dans le XVIII<sup>e</sup> siècle, période extraordinairement riche sur le plan culturel et scientifique pour tous les pays européens. Au-delà des conflits qui les ont opposés et souvent ruinés, nous assistons à la multiplication d'expériences variées en matière cadastrale et au transfert de savoir faire d'un pays à un autre tant au niveau des connaissances que des hommes.

Au stade actuel de nos connaissances nous pouvons retenir de ces expériences européennes du XVIII<sup>e</sup> siècle plusieurs enseignements :

**1 - Il y a eu une très grande diversité de projets et de réalisations qui touchèrent une grande partie de l'Europe.** Malgré un coût élevé, ces cadastres sont souvent voulus par leurs promoteurs comme étant généraux et donc soumis au contrôle de l'autorité centrale. Ils s'inscrivent dans la rationalisation des systèmes fiscaux afin de rendre ces derniers plus productifs face aux besoins financiers sans cesse grandissants des états. Ils correspondent de la part des administra-

tions centrales à un souci d'équité dans la répartition de l'impôt, équité entre les provinces et en fin de chaîne, équité entre les personnes imposables. Ils sont toujours accompagnés d'un effort pour limiter ou réduire les privilèges.

**2 - Nous constatons la présence, partout en Europe, d'administrations souvent réformatrices qui se développent au service des états** avec un personnel approprié, hiérarchisé et de plus en plus nombreux. Une nouvelle culture administrative apparaît. Elle s'enrichit d'un savoir scientifique et bénéficie d'une réflexion économique, politique et sociale menée à l'échelle du continent. La nécessité de connaître, pour fonder le développement, devient un souci majeur. D'où l'importance que prennent dans l'acte de gouverner, les statistiques, les enquêtes diverses, les inventaires, le classement et la hiérarchisation, la représentation géographique, tous travaux qui, à des degrés divers, nécessitent la réalisation de normes édictées par les autorités centrales qu'elles renforcent. Pour la plupart des réformateurs, les cadastres et les travaux qui les accompagnent deviennent ainsi des outils privilégiés de connaissance qui dépassent le strict champ cadastral pour répondre aux besoins d'une bonne gestion des territoires.

**3 - La réalisation des cadastres**, et en particulier, des plans cadastraux nécessite la présence d'un personnel souvent étranger aux communautés. Il faut donc former des personnes, développer des écoles. Partout le besoin en ingénieurs géographes, géomètres, arpenteurs, experts, juristes ■■■

■ ■ ■ se fait sentir. Ce personnel, au moins pour les individus les plus qualifiés, joue le rôle de conseiller et se déplace d'un pays à l'autre renforçant les liens inter-étatiques.

**4 - Pour un certain nombre d'opérations cadastrales (Catalogne, duché de Milan, Castille...) les instances administratives centrales regrouperont des compétences techniques, administratives et juridiques** *"pour s'imposer aux institutions judiciaires locales auxquelles est soustrait le contentieux relatif aux privilèges nobiliaires et ecclésiastiques et aux critères d'évaluation"*. Selon Antonella Allimento, *"la création de cadastre a amené avec elle l'affranchissement de l'action administrative de la mainmise du pouvoir judiciaire."*

**5 - C'est enfin une réflexion en terme d'économie politique du rôle de l'imposition et de ses conséquences sur le développement des activités économiques d'un pays :** qui imposer ? Que doit-on imposer ? Comment imposer ? Les réponses sont diverses et les avis sur l'intérêt des cadastres et les différentes formes d'imposition foncière vont diverger en particulier chez les physiocrates à partir du milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle.

Un pays retient l'attention. Contrairement aux autres, il ne se tourne ni vers un système cadastral ni vers l'imposition directe, mais privilégie des formes d'impôt indirect : C'est l'Angleterre.

Enfin, en guise de conclusion temporaire, nous pouvons dire que dès le XVIII<sup>e</sup> siècle, nous voyons apparaître au moins deux solutions non exclusives l'une de l'autre pour réaliser un cadastre : L'une repose sur les procédés déclaratifs (Luxembourg, Espagne) l'autre sur le mesurage géométrique parcellaire (duché de Milan). Si la première solution est scientifiquement moins prestigieuse que la seconde, en particulier par son absence de représentation cartographique, elle est moins onéreuse et plus rapide. Elle permet d'atteindre avec une précision jugée souvent satisfaisante la plupart des objectifs recherchés : meilleure équité entre personnes imposables et amélioration des rentrées fiscales, dénombrement de l'ensemble des biens fonds et limitation des privilèges. Ces deux derniers objectifs donnent aux opérations de cadastrage une dimension juridique nouvelle.

## Les cadastres généraux français au XVIII<sup>e</sup> siècle

La France connut au XVIII<sup>e</sup> siècle deux projets de cadastres généraux : le cadastre de Bertin et le cadastre de l'Assemblée Constituante.

En 1763, le contrôleur général de finances Bertin dans un édit du mois d'avril annonçait la création du 1<sup>er</sup> cadastre général du Royaume. La réaction et l'opposition à ce projet furent différentes entre la France du Nord et certaines parties de la France du Sud. En effet, le territoire français était divisé en deux parties : des pays de taille réelle où l'impôt portait sur les sols roturiers que le propriétaire soit noble ou non et les pays de taille personnelle où c'était l'individu qui était soumis à la taille. Dans le premier cas (essentiellement la Narbonnaise), les communautés avaient développé depuis longtemps des compoix, c'est-à-dire des cadastres où figuraient toutes les terres soumises à l'impôt et dont le statut était indépendant du statut du propriétaire.

Dans ces pays, dont le droit coutumier était imprégné du droit romain, le droit féodal était beaucoup moins prégnant que dans les pays de taille personnelle et le statut de "noble" était beaucoup moins "lisible". Par contre, c'est le statut de "propriétaire" qui dominait l'organisation sociale. L'assujettissement à l'impôt était la qualité requise pour pouvoir voter aux assemblées de communauté et participer ainsi à l'exercice du pouvoir local. Beaucoup de nobles de ces pays de taille réelle ne souhaitaient pas l'exemption de l'impôt foncier. A tel point que la noblesse du diocèse de Mirepoix en janvier 1789 réclamait de façon unanime d'être assujettie à l'impôt pour avoir le droit de siéger dans les assemblées de communauté et, selon Mireille Touzery, ce sont ces mêmes nobles du midi qui jouèrent le rôle clef dans la nuit du 4 août 1789, sacrifiant le régime seigneurial. Il est fort à penser, mais je ne l'ai pas vérifié, que dans les cahiers de doléances de la noblesse qui réclamaient un cadastre, la majorité provenait de ces nobles de pays de taille réelle.

Dans le Nord, pays de taille personnelle, la situation était très différente mais instable. Si le droit féodal régnait, des pres-

**Au XVIII<sup>e</sup> siècle, nous voyons apparaître au moins deux solutions non exclusives l'une de l'autre pour réaliser un cadastre : L'une repose sur les procédés déclaratifs (Luxembourg, Espagne) l'autre sur le mesurage géométrique parcellaire (duché de Milan). Si la première solution est scientifiquement moins prestigieuse que la seconde, en particulier par son absence de représentation cartographique, elle est moins onéreuse et plus rapide. Elle permet d'atteindre avec une précision jugée souvent satisfaisante la plupart des objectifs recherchés : meilleure équité entre personnes imposables et amélioration des rentrées fiscales, dénombrement de l'ensemble des biens fonds et limitation des privilèges. Ces deux derniers objectifs donnent aux opérations de cadastrage une dimension juridique nouvelle.**

sions de l'administration royale s'exerçaient depuis au moins un siècle pour le limiter, sinon le réduire. En l'absence de documents fonciers de référence, l'inventaire des terres de la noblesse semblait indispensable pour clarifier des situations souvent confuses. Ce dénombrement n'impliquait pas la suppression des privilèges mais risquait d'amorcer un processus de transformation des systèmes de taille personnelle en système de taille réelle ; transformation demandée par tous les réformateurs et souhaitée par la monarchie de plus en plus sensible au droit romain mais transformation redoutée par les privilégiés qui y voyaient le début de la fin des privilèges.

Dans ce contexte, l'annonce d'un cadastre général de la France déclencha de nombreuses réactions hostiles en particulier des états et parlements de province. Celles-ci entraînèrent le retrait du projet en novembre 1763 et le départ de Bertin en décembre de la même année.

Que s'était-il passé ? Dans son édit d'avril 1763, Bertin annonçait la cadastration générale du royaume mais restait imprécis sur le type de cadastre qu'il voulait mettre en place et sur la façon de le faire. Il s'agissait d'opérer un dénombrement et une estimation de tous les biens fonds même ceux du Domaine, des ecclésiastiques, des nobles et privilégiés sans toucher aux privilèges bien établis ni augmenter l'impôt, mais en le répartissant mieux. Était-ce crédible ?

Les exemples étrangers (Espagne, Milanais), les réformes ministérielles en matière fiscales (créant de nouveaux impôts), les craintes des physiocrates contre le "toujours plus" d'Etat en matière économique, créaient un climat de suspicion peu favorable au projet. L'absence d'explications claires en matière d'administration locale (quel serait le nouveau rôle des communautés en matière fiscale ?), la crainte des parlements et des pays d'états de perdre également en matière fiscale toute responsabilité face à l'administration centrale, générèrent une vive opposition au projet même dans les pays de taille réelle. A cela s'ajoutèrent bien sûr, les craintes des privilégiés de voir partout la taille réelle s'imposer en remplacement de la taille personnelle. Sans imposition réelle, beaucoup se demandaient si un cadastre avait un intérêt ou même un sens.

L'absence de modalités techniques concernant la réalisation de ce premier cadastre suscita la critique d'une partie de l'administration. Fallait-il suivre la voie milanaise et s'orienter vers un cadastre géométrique parcellaire ? Fallait-il se tourner vers la voie luxembourgeoise ou espagnole bien connue et adopter le procédé déclaratif ? Fallait-il s'orienter vers une troisième solution la voie "vieux Piémont" soutenue par l'Intendant de Paris, Bertier de Sauvigny : le cadastre par masse de culture. Ces solutions n'étaient pas exclusives les unes des autres. Si elles ne répondaient pas aux mêmes besoins, elles pouvaient théoriquement s'emboîter, se compléter et être échelonnées dans le temps. Mais le cadastre géométrique parcellaire paraissait déjà comme étant la solution optimale. C'était le modèle retenu par Turgot et l'Intendant des finances, Marie Lefèvre d'Ormesson qui, en 1763, organisa une mission d'étude en Italie pour rencontrer Pompo Neri, jurisconsulte et

responsable du cadastre milanais. Des arpenteurs milanais furent invités à venir travailler en France.

Quelles que soient la ou les solutions retenues, la réalisation de ce premier cadastre général de la France semblait devoir échapper à la responsabilité des parlements, des états provinciaux et des communautés au profit de l'administration centrale, seule capable d'imposer, semble-t-il, une cohérence à l'ensemble : formation d'un personnel adapté, usage d'une seule unité de surface, mise au point de méthodes d'enquête et de levés avec des critères normalisés. Pour beaucoup d'économistes et de gestionnaires, l'approche cartographique d'un relevé parcellaire faisait peur. Compte tenu de son coût et de sa durée d'exécution, il ne pouvait qu'être à son tour générateur de dépenses excessives et donc d'impôts nouveaux.

En fait, la proposition de cadastre de Bertin s'inscrivait dans une progression irrésistible du droit romain, dans l'affirmation de la défense des droits individuels par rapport aux droits collectifs et dans une reconquête des pays de la France du Nord par ceux du Sud. La mise en place d'un cadastre sous contrôle de l'administration centrale devait permettre d'établir des liens directs entre l'individu devenu contribuable et le fisc. C'était quelque part la fin de la société d'ordre.

Après cet échec, la monarchie continue à œuvrer pour la limitation de la taille personnelle et l'amélioration des déclarations de la part des taillables (Limousin). Les seuls cadastres qui virent le jour furent des cadastres par masse de culture dans la généralité de Paris et en Alsace. Ces cadastres furent utilisés par les intendants pour améliorer la répartition de la taille entre les paroisses. Il faut également ajouter le cadastre de la Corse dont le plan terrier fut réalisé à partir de 1770 mais qui n'eut aucun impact sur le régime fiscal ni sur le statut politique de l'île.

A partir de 1776, les projets de cadastre réapparaissent en lien avec la décentralisation. Necker, Calonne, Loémié de Brienne en diminuant les compétences financières des intendants et en renforçant les assemblées provinciales rendirent possible des cadastres conçus localement. Ces derniers revinrent alors au cœur des débats et des préoccupations qui nous conduisent directement à la préparation des états généraux de 1789.

## Le cadastre de l'Assemblée Constituante

Dans les cahiers rédigés par les assemblées électorales, l'exécution de cadastre était demandée par 73 assemblées de baillage de la noblesse et par 58 du Tiers Etat. L'Assemblée Constituante en supprimant les anciens impôts qui s'étaient progressivement accumulés au cours des siècles, les remplaça par une contribution foncière unique qui devait être répartie par égalité proportionnelle sur toute la propriété foncière à raison de leur revenu net sous réserve de quelques exceptions déterminées par les intérêts de l'agriculture.

Pour le Duc de Gaëte qui eut, à partir de 1807, la responsabilité de la mise en place du cadastre parcellaire napoléonien, le cadastre issu de l'Assemblée Constituante était un cadastre parcellaire en bonne et due forme. *"Après avoir établi une contri-*



■ ■ ■ *bution foncière qui n'admettait aucun privilège, elle (l'Assemblée Constituante) consacra le principe et détermina les règles du cadastre parcellaire afin d'assurer à tous les contribuables un traitement égal. L'article premier des décrets du 20 août et 16 septembre 1791 sanctionnés par le roi Louis XVI le 23 septembre prévoit en ces termes les formes à observer dans l'exécution de cette opération : lorsqu'il sera procédé à la levée du territoire d'une communauté, l'ingénieur chargé de l'opération fera d'abord un plan de masse qui présentera la circonscription de la communauté et sa division en sections. Il formera ensuite les plans de détail qui composeront le parcellaire de la communauté.* La notion même de cadastre parcellaire pour l'ensemble du territoire français est donc le résultat des travaux de l'Assemblée Constituante qui s'inspirait de cadastres parcellaires de pays voisins, Milanais, le Piémont, la Savoie.

Mais à peine décidé, le projet fut ajourné faute de moyens financiers pour le mener à bien. Ainsi, dans l'immédiat la Constituante se résolut à fonder l'assiette de ce nouvel impôt sur la seule déclaration des contribuables sous la responsabilité des élus locaux. Le recensement systématique des biens fonds sans distinction de privilège fonctionnerait sur un système déclaratif mais en l'absence d'un personnel administratif suffisamment nombreux et formé pour en assurer la cohérence. Le principe d'un cadastre général n'en restait pas moins affirmé et les députés voulurent en jeter les bases. L'instruction sur la contribution foncière de 1790 fixa tout d'abord l'organisation et les règles de l'expertise qui, aux yeux de tous était l'opération la plus difficile. Ces prescriptions resteront en vigueur jusqu'à la fin du cadastre parcellaire. L'année suivante, un décret laissa aux départements et aux communes, la faculté de faire dresser un plan à leurs frais, en particulier en cas de contestation.

De manière significative, cependant, l'Assemblée ordonna que ces plans soient rédigés suivant des "règles uniformes" qui permettent par la suite de lier ces opérations vers la confection d'un cadastre général. C'est pour définir ces règles, les faire appliquer, organiser les travaux éventuels qu'elle décida la création d'un Bureau du Cadastre. La direction de ce Bureau créé le 5 octobre 1791 fut confiée à Gaspard François de Prony qui devint par la suite Directeur de l'Ecole des Ponts et Chaussées. Jusqu'en 1802, date à laquelle il sera supprimé,

ce Bureau ne fera, pour le cadastre, que des travaux préparatoires. Mais son histoire mérite qu'on s'y attarde. Pour Prony, le cadastre devait dépendre d'un organisme scientifique collectant toutes les informations statistiques nécessaires au développement économique et diffusant les informations cartographiques et géographiques dont aurait besoin l'ensemble des administrations. En 1792, le Bureau fut rattaché au Ministère de l'Intérieur. Sa tâche était d'une part de calculer la répartition de la contribution foncière et d'autre part de fournir toutes les cartes, tous les calculs, toutes les informations géographiques dont avait besoin le corps législatif et les diverses administrations. Prony va alors concevoir une approche globale d'une cartographie nouvelle centralisée, regroupant géodésie, levés parcellaires cadastraux, cartes topographiques et inventaires socio-économiques.

Dans un projet, daté de 1792, il propose trois types de plans à des échelles différentes :

- des cartes au 1/20 000 en coupures pleines qui devaient être levées par des ingénieurs géographes sortis de la future Ecole des géographes du cadastre. Elles portaient la représentation de la triangulation de Cassini et celle de deuxième ordre reliant les points remarquables de chaque commune.
- Puis des cartes au 1/2 500 formant un plan masse de chaque commune qui portait seulement la représentation des rivières, des routes, des limites communales.
- Puis un plan de détail au 1/666 qui portait la représentation de toutes les propriétés particulières.

Cette approche intégrait pour la première et unique fois en France la cartographie à moyenne et petite échelle et les plans à grande échelle dans le cadre d'un même service cartographique. Les compétences du Bureau du Cadastre augmentèrent progressivement avec la création en 1794 d'une Ecole des géographes du cadastre, puis du dépôt de la carte de France. A partir de 1797, il prit la charge de tous les travaux de géodésie y compris les travaux de mesure du méridien de Paris de Dunkerque à Barcelone, liés à la détermination du système métrique.

Les difficultés financières de l'Etat en cette période révolutionnaire, les problèmes fonciers liés à la vente des biens nationaux, les rivalités entre administrations, le retard catastrophique pris dans la détermination du système métrique (commencée en 1792, elle se terminera en 1799) paralyseront

**Quant au projet de cadastre parcellaire, il n'a jamais été abandonné. En analysant de nouvelles propositions faites par Prony en 1797, on peut noter que les recommandations concernant les trois niveaux de plans ont évolué. L'échelle du plan masse fut réduite au 1/5 000 et celle du plan de détail au 1/2 000 ; puis ce dernier fut mis en sommeil. A l'inverse, les spécifications concernant le plan masse ne firent que croître. Contrairement à ce qui était prévu en 1792, le plan masse de 1797 devait porter la représentation en masses de différentes cultures et servir à une évaluation par masses des propriétés imposables de la commune. C'est exactement ce type de plan qui sera repris en 1802.**

la production cartographique et cadastrale du Bureau du Cadastre. Les succès militaires de la campagne d'Italie ne feront ensuite qu'aggraver les choses. La France devenue une nation conquérante, aura besoin de cartes. Le Dépôt de la guerre ne cessera pas de grandir aux dépens du Bureau du Cadastre. La majorité des élèves formés par Prony dans l'Ecole des géographes iront rejoindre les services cartographiques militaires. Le Bureau du Cadastre disparaîtra en 1801. Le cadastre sera alors repris par le Ministère des finances. Son Ecole fermera en 1802.

Quant au projet de cadastre parcellaire, il n'a jamais été abandonné. En analysant de nouvelles propositions faites par Prony en 1797, on peut noter que les recommandations concernant les trois niveaux de plans ont évolué. L'échelle du plan masse fut réduite au 1/5 000 et celle du plan de détail au 1/2 000 ; puis ce dernier fut mis en sommeil. A l'inverse, les spécifications concernant le plan masse ne firent que croître. Contrairement à ce qui était prévu en 1792, le plan masse de 1797 devait porter la représentation en masses de différentes cultures et servir à une évaluation par masses des propriétés imposables de la commune. C'est exactement ce type de plan qui sera repris en 1802.

## Du cadastre général par masse de culture de 1802 au cadastre parcellaire de 1807

Malgré les appels réitérés au civisme, le système déclaratif mis au point par l'Assemblée Constituante ne donnait aucune satisfaction. Quelques améliorations furent apportées telle la création en 1797 de l'administration des contributions directes ou, en 1801, la refonte générale des matrices de rôle avec l'obligation pour les propriétaires de déclarer l'ensemble de leurs revenus. Mais les plaintes concernant la mauvaise répartition de l'impôt restaient toujours aussi nombreuses.

Aussi, tout en réaffirmant encore une fois la nécessité d'un cadastre général parcellaire, le comité des consuls du 3 novembre 1802 décida l'exécution immédiate d'un cadastre par masse de culture, forme évoluée du plan masse conçu par Prony.

Le but était de faire une estimation assez précise du revenu global de chacune des communes cadastrées. L'administration pensait pouvoir ainsi mieux répartir l'impôt entre communes, cantons, arrondissements et départements. Par contre à l'intérieur des communes, l'évaluation des revenus et l'imposition des contribuables continuaient d'être effectuées selon les anciennes méthodes. Or la majorité des réclamations venaient de la part des propriétaires qui constataient les injustices de la répartition individuelle. Toute l'opération fut alors critiquée : l'absence d'arpenteur qualifié, la mauvaise qualité des plans, la mauvaise foi des propriétaires, l'ignorance de ceux-ci concernant le contenu réel des propriétés, les erreurs sur les unités de mesure employées, l'inexpérience des experts des contributions en matière de plans, etc.

Alors, aussi bien du côté de l'administration que du côté des propriétaires, on se mit à réclamer le cadastre parcellaire, qui

apparaissait désormais, pour le contribuable, comme le seul moyen de contrôler les informations du plan le concernant et pour l'administration, le seul moyen de connaître avec précision les revenus fonciers de la Nation et de pouvoir procéder à une juste répartition de l'impôt. Le cadastre parcellaire était devenu un projet politique et social partagé entre l'administration et les citoyens. C'est dans ce contexte que l'Empereur Napoléon, conseillé par Gaudin, duc de Gaète, ministre des finances, prit la décision populaire de créer le cadastre parcellaire de l'Empire par la loi du 15 septembre 1807. *"Mesurer sur une étendue de plus de sept mille neuf cents et un myriamètres carrés plus de cent millions de parcelles, confectionner, pour chaque commune un plan où sont rapportées ces cent millions de parcelles, les classer toutes d'après le degré de fertilité du sol, évaluer le produit imposable de chacune d'elles, réunir au nom de chaque propriétaire les parcelles éparses qui lui appartiennent, déterminer, par la réunion de leurs produits, son revenu total et faire de ce revenu un allivrement qui sera désormais la base de son imposition, tel est l'objet de cette opération."* Le cadastre général parcellaire français allait devenir réalité.

L'histoire des origines du système cadastral français est révélatrice de sa complexité tant au niveau de sa genèse que de son évolution. Nous avons vu que, pour être comprises, celles-ci doivent être si possible appréhendées dans le cadre d'une analyse comparée faisant ressortir les liens avec les systèmes existants ou ayant existé. D'une façon plus générale, l'histoire des réussites ne saurait nous faire oublier celle des échecs. Tous nous apprennent que l'histoire cadastrale est une page de l'histoire politique et sociale d'un pays et qu'elle traduit en même temps la capacité d'une société à créer et à gérer les systèmes spatiaux qu'elle a mis en place. En élargissant l'analyse aux autres pays européens, la leçon de l'expérience acquise est qu'il ne saurait y avoir de modèle stable et unique capable de répondre aux besoins de tous les peuples en tout lieu et en tout temps. En matière cadastrale, la diversité est toujours source de richesse et de progrès.

A tous ceux qui, dans le monde, rêvent de voir s'imposer un modèle cadastral unique et stable, j'offre à méditer cette phrase de Montesquieu, déjà citée par Mireille Touzery, *"la grandeur du génie ne consisterait-elle pas à savoir dans quel cas il faut l'uniformité et dans quel cas il faut des différences ?"* ●

## Bibliographie

*Annuaire d'histoire administrative européenne n°13, Cadastre et Etat moderne en Italie, Espagne, France (18<sup>e</sup> siècle)*, Baden Baden, Nomos Verlagsgesellschaft, 2001, 369p..

**Baptiste (Gérard)**, *Aux origines du cadastre napoléonien, le bureau du cadastre (1791-1802)*, (Communication inédite présentée au 12<sup>e</sup> Congrès International d'Histoire de la Cartographie, Paris, 1987).

**Bacchus (Michel) et Dupuis (Jean Claude)**, *Une nouvelle carte de France par levé cadastral : bilan d'une idée révolutionnaire, dans Actes du 114<sup>e</sup> Congrès national des sociétés savantes, section de Géographie*, Paris, 1989 ; Paris Editions du CTHS, 1990, p.53-61.

# Le point de vue d'une profession technique

■ François BODIN Président de GSF

*Militer dans le domaine associatif oblige parfois à des exercices nouveaux ; ainsi l'Association pour la Promotion de l'Internet dans les Professions Libérales (API-PL) a-t-elle organisé un colloque à l'Assemblée Nationale en avril dernier. GSF a été sollicité pour une intervention devant les représentants de nombreuses institutions et associations tant françaises qu'étrangères. Cet exercice permet de dégager les axes forts qui ont guidé les pas de notre association et que le l'extrait ci-dessous résume. Il faut maintenant nous préparer à aborder de nouvelles participations en particulier au forum d'Agen des solidarités Nord-Sud qui se tiendra en Octobre prochain...*

Chaque profession libérale technique réglementée possède sa propre spécificité, celle que la nation française lui reconnaît comme relevant d'une mission de service public puisqu'elle en impose le contrôle au travers d'un Ordre Professionnel.

Ainsi la profession de Géomètre Expert est-elle organisée, en France, autour de la fixation des limites des biens fonciers et de la définition des droits attachés à la propriété foncière, bornage, division, définition de servitudes et à partir de ce fondement a-t-elle développé et investi d'autres travaux plus techniques comme la topographie, l'établissement des états descriptifs de propriété, la maîtrise d'œuvre de travaux routiers ou de voirie et réseaux divers, la métrologie ou mesures de précision d'ouvrages de grandes dimensions, voire l'entremise immobilière et l'urbanisme.

"Fabricant de frontière", voilà une définition qui résume la partie strictement publique et encadrée par le législateur de notre activité. Paradoxalement, c'est sous l'étiquette de "Géomètres Sans Frontières" que des confrères se sont engagés depuis une quinzaine d'année à participer à des actions de développement. Répondant aux deux premiers points de la charte de l'association, ces actions ont consisté à aller effectuer des travaux techniques sur place, de l'Afrique à l'Amérique du Sud, puis à compléter ces relevés par des études de projet, enfin tout en effectuant des relevés à laisser du matériel à nos homologues africains en particulier.

Depuis cinq ans l'association Géomètres Sans Frontières s'est plus spécialement attachée à développer le troisième point de sa charte : "contribuer à la formation initiale et continue des techniciens locaux qui en ont le désir et le besoin en géométrie et en topographie". Elle assiste ainsi un confrère africain qui, en plus de son cabinet, a créé une école professionnelle où nous allons assurer un certain nombre de cours techniques et dont nous accueillons à partir de cette année les élèves en stage de fin d'études. L'association coordonne l'ensemble,



fournit les billets d'avion, contrôle la valeur technique du travail effectué par les étudiants français et garantit leur engagement à préparer et assurer les cours. Bien sûr il est encore trop tôt pour connaître le profit que nos amis africains tireront de cette expérience, pour juger de sa reconduction ou pour l'adapter à d'autres pays. Mais pour chaque élève africain la découverte de jeunes français chez eux est importante tandis que pour chaque étudiant français l'expérience est forte...

... Ces quelques mots pour tenter de comprendre ce qui est essentiel dans notre démarche, qui n'est pas uniquement un transfert de technique et de savoir-faire, mais plus profondément la création d'un lien immatériel, l'envie d'aider ces jeunes à progresser vers la paix. Or pour partager ces sentiments universels et difficilement formulables, la technique et le savoir sont nos matériaux et la langue française la passerelle commune qui va permettre, au delà de la manipulation des sinus, cosinus et autres calculs de courbes, de créer ce lien qui quelque part donne sens à la vie. Et ce lien sera prolongé et assuré par la magie d'internet qui permet de répondre rapidement à toute question pratique de demande de visa, de corrigé de cours et même de dépannage logiciel comme cela est arrivé l'an dernier. Cette expérience d'enseignement partagé doublé d'un travail en commun au profit d'une association locale de développement nous a fait toucher du doigt cet essentiel dont Saint-Exupéry écrit qu'il lui "semble aussi distinct des matériaux utilisés qu'une nef de cathédrale est distincte du monceau de pierres dont elle est sortie"...

... Aller au delà de la mission première en utilisant la technique comme matériau de base est actuellement le souci du bureau de l'association GSF ; goutte d'eau perdue dans la mer ? peut-être... rêves d'adolescents toujours cachés sous nos cheveux grisonnants ? certainement... mais nous ne boudons pas notre joie puisqu'il y a encore des adolescents qui croient à ces rêves et que nous avons la chance de pouvoir les aider à commencer à les réaliser, par la technique d'abord, par la francophonie ensuite, avec l'aide d'internet enfin...

"Force les de bâtir ensemble une tour, ils s'aimeront en frère ; si tu veux qu'ils se haïssent, jette-leur du grain... L'essentiel ? Ce ne sont peut-être ni les fortes joies du métier, ni ses misères, ni le danger, mais le point de vue auquel ils élèvent." C'est encore à Antoine de Saint-Exupéry que je dois cette réflexion en guise de conclusion. ●



# Malevitch : les coul

■ Jean-Pierre MAILLARD

*Les brodequins du zouave du pont de l'Alma constituent le repère de nivellement le plus connu de la capitale. Dès qu'ils sont mouillés, on sait que la Seine va déborder. Face au courant, la statue cohabite, sans jamais la voir, avec la réplique dorée du flambeau de la statue de la Liberté. Avec le zouave l'œuvre de Bartholdi forme un autre jalon vers le musée d'Art moderne de la Ville de Paris quand, à pieds, il est abordé depuis le fleuve.*

## Le Palais de Tokyo

Le musée connu sous le nom de Palais de Tokyo a été construit en style néo-classique pour l'exposition universelle de 1937 par les architectes Dondel, Aubert, Viard et Dastugue.

Bien connu pour sa collection, il met en valeur les Fauves, les Cubistes aussi bien que les mouvements récents incluant l'expression géométrique. Les manifestations temporaires représentent une part significative de son activité.

Du 30 janvier au 27 avril 2003 la dernière a fait connaître un ensemble d'œuvres de Kasimir Malevitch appartenant au Stedelijk Muséum d'Amsterdam en particulier "Suprématisme".

## Suprématisme

Intitulée "Suprématisme (avec huit rectangles)" la pièce majeure de l'exposition, d'un format de 48,5 x 57,5 cm, date de 1915. Ce n'est pas une découverte car le tableau est déjà largement vulgarisé par des cartes postales et des tee-shirts. La description de Jeannot Simmen est parfaite : "Par l'agencement en diagonale de rigoureux rectangles, de taille différente et bien distincts, la composition semble être en suspension sur un blanc néant. Les figures se détachent sur un grand ensemble céleste de manière non chaotique, naturelle et claire. Les compositions en apesanteur témoignent de l'intérêt de Malevitch pour le surnaturel et de son désir d'atteindre un univers supraterrrestre".

Pourtant en clignant les yeux, on pour-

rait voir sans trop d'imagination, les bras croisés, un cosaque en train de danser. Le suprématisme est tout à la fois une période du travail de l'artiste, sa théorie sur la non-figuration ouvrant sur un

monde d'éléments en apesanteur, le mouvement qui l'accompagne et selon son expression "la suprématie de la sensation dans l'art de création". Malevitch ne s'emploie pas à figurer la réalité, il veut dépasser les cubistes et sortir de l'académisme.

Il pense que les tableaux suprématistes n'ont ni haut ni bas, ni droite ni gauche, par analogie à l'infini qui n'a ni sol ni plafond, ni fondation ni horizon. Ainsi il n'y a pas que son Carré noir sur fond blanc qui puisse être accroché par n'importe quel côté.



© Stedelijk Museum, Amsterdam

**Suprématisme (huit rectangles rouges), 1915 Huile sur toile, 57,5 x 48,5 cm Stedelijk Museum, Amsterdam**

# eurs de l'apesanteur

Cette œuvre réalisée peu de temps avant "Huit rectangles" est réellement à l'origine d'un grand bouleversement. C'est quasiment le premier tableau non figuratif de l'Histoire de l'Art.

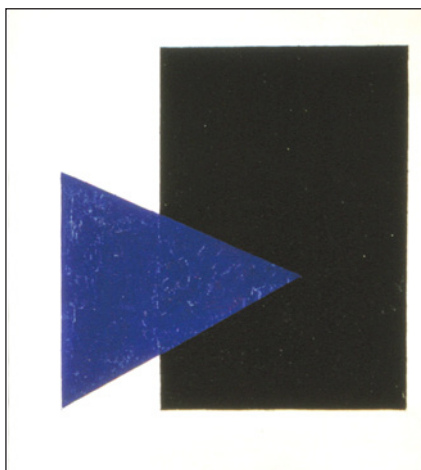
En le faisant Malevitch a voulu libérer l'art du poids de l'objet. Cette audace a été incomprise et lors de sa présentation le Carré noir sur fond blanc a été vertement critiqué et même considéré comme dangereux.

Il est vrai qu'au-delà de la démarche artistique, Malevitch a risqué la provocation en fixant son tableau dans l'angle de la pièce, là où traditionnellement l'icône orthodoxe est accrochée.

## Malevitch

Kasimir Malevitch est né à Kiev en 1878 ou en 1879 selon les dernières recherches de Jean-Claude Marcadé. Il commence à peindre à l'âge de 15 ans. C'est à Koursk où sa famille s'est installée en 1896 qu'il ressent le besoin d'un enseignement artistique. Il travaille plusieurs années pour financer sa formation. Il réalise son projet en 1904 en date à laquelle il s'installe à Moscou.

Il assimilera l'impressionnisme, le cubisme avant de basculer dans la non-figuration. Son activité de peintre et de décorateur de théâtre s'élargira dès 1918 à une mission d'enseignement. Dès lors son parcours est moins connu. On peut supposer que les idéaux révolution-



© Stedelijk Museum, Amsterdam

**Suprématisme (Triangle bleu et rectangle noir), 1915 Huile sur toile, 66,5 x 57 cm Stedelijk Museum, Amsterdam**

naires de la Russie soviétique étaient en contradiction avec l'interrogation métaphysique du peintre. En effet il cherchait à accéder au "point suprême" s'appuyant sur le suprématisme qui, note-t-il, "*exprime le rien devenu réalité*".

Sa réflexion est consignée dans plusieurs ouvrages théoriques sur la peinture en particulier "*Un monde sans objet*" qu'il a présenté en 1927 en Allemagne, au Bateau-Lavoir, ce dernier l'ayant publié.

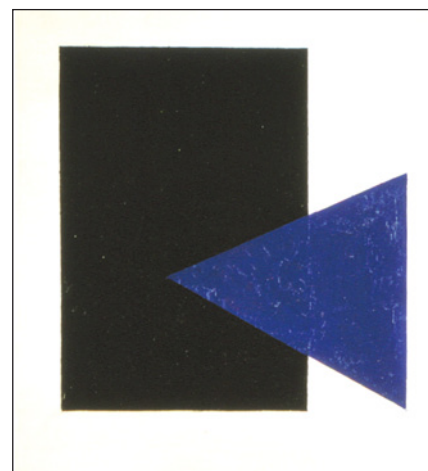
Sur la fin de sa vie, Malevitch retourne à la peinture figurative sans doute sous la pression de l'Etat stalinien. En revanche son travail laisse entrevoir une critique politique du régime car les paysans de

ses toiles sont sans bras et les maisons sans fenêtres, ce qui trahit dans le même temps l'angoisse et l'isolement de l'homme de son temps en URSS.

Il décède en 1935 à Leningrad. Son attachement au suprématisme s'exprime encore lors de ses funérailles. En effet il a tenu à ce que son cercueil porte un carré noir et un cercle rouge, éléments qui seront repris sur le monument funéraire qui reçoit ses cendres à Moscou.

## L'apport de Malevitch

L'apport de Malevitch est sans conteste la fondation de l'abstraction géométrique et une approche très intellectuelle de l'expression picturale. Après le suprématisme noir du carré et le suprématisme rouge des rectangles, l'artiste atteint, en 1918, le suprématisme blanc. Cet aboutissement est formalisé par le Carré blanc sur fond blanc. Il révèle en même temps le degré ultime de sa réflexion vers la blanche pureté, vers le "rien dévoilé" et, a contrario ses limites, car l'art du rien ne pourra jamais constituer un tout. ●



© Stedelijk Museum, Amsterdam

**Suprématisme (Triangle bleu et rectangle noir), 1915 Huile sur toile, 66,5 x 57 cm Stedelijk Museum, Amsterdam**

**L'artiste atteint, en 1918, le suprématisme blanc. Cet aboutissement est formalisé par le Carré blanc sur fond blanc. Il révèle en même temps le degré ultime de sa réflexion vers la blanche pureté, vers le "rien dévoilé" et, a contrario ses limites, car l'art du rien ne pourra jamais constituer un tout.**