

xvz

Éditée par
l'Association
Française de
Topographie
n°93



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

***Utilisation combinée
des techniques GPS et Radar***

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

Evelyne Mesnis

Autre publication

L'annuaire de l'AFT

IMPRIMERIE MODERNE USHA

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

Dépot légal

4^e trimestre 2002 ISSN 0290-9057
N° CPPAP : 093 g 80866

Tirage de ce numéro : 2 500 ex

Abonnement annuel

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

Le bulletin d'adhésion est en p. 71

Membre du SPCS Syndicat de la Presse
Culturelle et Scientifique

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

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 • Site internet : <http://www.aftopo.org>

■ Editorial 5

■ Info-Topo

> Les informations de la profession 7

■ Manifestations

> Les étudiants de l'ENSAIS en visite
à INTERGEO® 2002
Pierre GRUSSENMEYER 23

> Le 50^e anniversaire de l'Union
des Ingénieurs ESGT
Michel KASSER 24

■ Prix AFT 2002



> Evaluation de l'apport de données optique
et radar de Très Haute Résolution (THR)
pour la cartographie de dégâts de tempête
en milieu forestier
Cyrille MAIRE 28

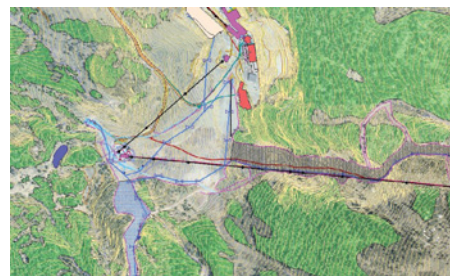
> Techniques spatiales et systèmes
d'information pour la gestion
des inondations
Jean-Baptiste HENRY 36

■ GPS



> Utilisation combinée
des techniques GPS et Radar
Christian HAGIN et Patrick LATHION 43

■ SIG



> GéoStation la solution géomatique de gestion
des domaines skiabiles développée
par Orodia sur le SIG GeoConcept
*Fabrice COLLINSE
et Jean-Christophe LOUBIER* 47

■ Géodésie

> Application de la représentation Lambert 93
Paul COURBON 51

■ Topo-vécue

> COPTOS ou les ruines d'un passé prestigieux
Tania NEUSCH et Samuel GUILLEMIN ... 59

■ GSF

> le couple GPS-écho sondeur
au pays des pirogues
David LARROZE 63

■ Internet

> Site Internet de l'AFT nouvelle formule :
<http://www.aftopo.org/>
Tania NEUSCH 64

■ Art et Géométrie



> Marcel-Petit : La pierre médiatrice
Jean-Pierre MAILLARD 66

■ Livres 68

Pour la recherche de nos annonceurs
consulter la page 69.

Le mot du Président

Ainsi, depuis Septembre les membres du bureau de l'AFT m'ont confié la tâche de présider notre association. Je ne peux que rendre hommage au travail considérable qui a été effectué par mes prédécesseurs et, à mon tour, je vais essayer de continuer à œuvrer pour que tous les membres se retrouvent au mieux dans nos activités. L'année 2003 qui vient promet de démarrer en fanfare, avec le congrès de la FIG à Paris en avril, à l'organisation duquel nous travaillons activement, A. Bailly, M. Mayoud et moi-même. La FIG est typiquement la structure internationale qui correspond aux "AFT" et "OGE" de plus de 80 pays, et nous devons faire de notre mieux pour que nos collègues du monde entier puissent apprécier leur séjour parisien. Mais nous devons aussi nous mobiliser à fond pour venir les voir et discuter avec eux : Ce congrès ne sera une réussite que si de nombreux collègues français sont là eux aussi ; Il remplacera pour nous le CITOP que nous n'avons pas fait fonctionner depuis quelques temps : une exposition qui promet d'être superbe, et de nombreuses conférences de tout premier plan, qui seront toutes accessibles en langue française... Le monde vient vers nous, ne restons pas dans notre coin et ne laissons pas passer de telles occasions de nouer des contacts à l'étranger, d'augmenter notre cercle de connaissances, de préparer des collaborations internationales, d'évaluer des possibilités d'exporter nos services.

Et puis nous allons faire des efforts d'organisation pour que vous soyez plus nombreux à vous impliquer dans la vie de tous les jours de votre association. En France, l'AFT a une véritable raison d'être, elle est là pour créer les liens entre les professionnels de la topographie, elle est là pour faire vivre le bel outil de promotion technique qu'est notre revue, elle est là pour aiguïser notre curiosité vers les domaines qui ne cessent d'évoluer.

Que 2003 qui s'approche soit favorable à nos entreprises et à notre association !

Michel Kasser

Un grand disparu de la géodésie

Un an, un peu plus, que Jean-Jacques Levallois nous a quitté.

Il nous laisse le souvenir d'un homme simple, qui aimait se retrouver en bord de Seine, en banlieue de Paris, canne à pêche en main, avec ses amis, comme lui taquineurs de goujons et d'ablettes.

Tel était cet important scientifique, ce professeur écouté qui fait partie de l'histoire de la géodésie sur notre planète. En France, il fut l'un des premiers à comprendre l'intérêt des méthodes spatiales en géodésie et à s'investir dans cette révolution, et ce, dès 1959.

Il a été pendant plusieurs années examinateur du cour d'astronomie de Tardi à l'Ecole Polytechnique, il a été aussi membre correspondant de l'Académie des Sciences.

Internationalement, en tant que secrétaire général de l'Association Internationale de Géodésie, il sut offrir ses compétences combinées de scientifique et de gestionnaire, qui furent reconnues et honorées par la création d'une médaille "Levallois", que l'AIG remet en récompense aux grands serveurs de la géodésie, et dont le premier récipiendaire fut Charles Whitten, président de l'AIG de 1960 à 1963.

Jean-Jacques Levallois fut à l'origine de la création du Groupe de Recherche en Géodésie Spatiale, le GRGS, en 1971, qui fut composé du Bureau des Longitudes, du CNES, de l'IGN et de l'Observatoire de Paris. Le GRGS imprima la présence française dans toutes les activités spatiales nationales et internationales.

En tant que scientifique, Levallois sut contribuer, notamment en Europe, au soutien de la gravimétrie et de la modélisation du champ de pesanteur. Il dirigea le Bureau Gravimétrique International et stimula la coopération européenne pour la détermination d'un géoïde continental.

Il avait une haute idée de son travail, mais savait introduire l'humour comme une des voies de la pédagogie. À preuve, cette formule imagée : le GPS est à la géodésie ce que le TGV est à la locomotive électrique, ou encore, le Méridien et la Méridienne devraient être au Patrimoine international de l'UNESCO pour sa définition du mètre "mesure révolutionnaire".

Nous publions ci-dessous un texte souvenir de Raymond D'Hollander qui fut un éminent collègue et ami de ce grand disparu de la géodésie.



M. J. J. Levallois sur le méridien de Paris

Jean-Jacques Levallois "l'ancien", le camarade et l'ami

par Raymond D'Hollander

J'ai été très peiné d'apprendre durant mes vacances dans les Pyrénées le décès de J. J. Levallois, à côté duquel j'ai passé quatre années de ma carrière à l'Ecole Nationale des Sciences Géographiques (ENSG) qui se trouvait alors boulevard des Invalides, en face de l'église St François Xavier.

M. Tardi directeur de l'ENSG nous avait prélevés en octobre 1947 tous les deux des services de production de l'IGN

pour nous faire affecter à l'école : J. J. Levallois comme chef de la division des ingénieurs géographes et moi-même comme chef de la division des ingénieurs des travaux géographiques de l'Etat (ITGE). Nous y avons passé tous les deux quatre ans dans deux bureaux situés côte à côte, avant de revenir à la même date dans nos services respectifs.

J. J. Levallois professait aux élèves des

deux divisions un enseignement très complet de statistiques, probabilités, de théories des erreurs et des moindres carrés ; en dehors de l'ENSG il professait un cours de topométrie au Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM) aux candidats à l'examen de géomètre-expert foncier DPLG. A l'ENSG le professeur de géodésie-astronomie était M. Laclavère, mais J. J. Levallois avait la charge de l'en-

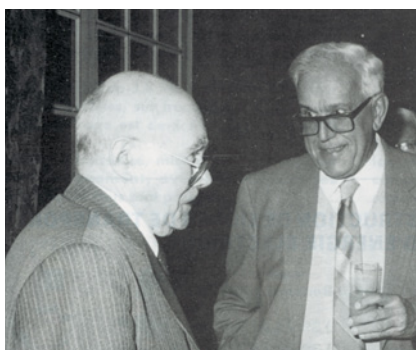
seignement pratique de la géodésie et de l'astronomie de campagne à Paris durant la période de l'enseignement théorique et à Goult pendant l'été. A sa division étaient rattachés des officiers français et étrangers, quelques auditeurs libres. Toutefois les officiers suivaient en général l'enseignement de la division des ingénieurs TCE.

Dans le cadre de son enseignement pratique de géodésie-astronomie, il avait passé un certain temps à polir la lentille d'un objectif de lunette astronomique ; il avait aussi rédigé une petite notice sur l'utilisation de la carte du ciel et confectionné un calque donnant pour une latitude donnée (celle de Goult) les cercles d'égaux hauteurs et d'égal azimut, calque que l'on faisait tourner par rapport à la carte du ciel pour faire les observations astronomiques selon la méthode des hauteurs égales. La notice comportait plusieurs constructions astucieuses pour le tracé de ce double réseau de cercles.

Quant à moi j'assurais dans les deux divisions l'enseignement de la topographie. A ma division étaient rattachés les élèves-ingénieurs de l'Ecole supérieure des géomètres et topographe (ESGT) qui avaient choisi l'option topographie et qui faisaient leur 2^e année d'études en suivant les mêmes cours que les élèves ingénieurs des TGE. Cette solution, voulue par le général Hurault, directeur de l'IGN, avait l'avantage de mettre côte à côte des élèves ingénieurs destinés, les uns au secteur public, les autres au secteur privé ; elle subsista jusqu'au changement de statut de l'IGN.

Lorsque celui-ci devint établissement public à caractère administratif, les Autorités de tutelle exigèrent que soit le CNAM, soit les élèves acquittent des droits de scolarité ; cela mit fin à cette cohabitation.

Je dispensais aussi à partir de l'année scolaire 1948 - 49 un enseignement de mathématiques supérieures et spéciales aux élèves ingénieurs des TGE, recrutés à l'époque par concours sur le programme de mathématiques et de physique de la classe de mathématiques élémentaires, enseignement



M. J. J. Levallois avec M. Vincent

auquel M. Tardi ajouta un cours de "compléments de géométrie", sur lequel je reviendrai plus loin.

L'été j'assurais sur le terrain l'instruction de topographie des ingénieurs élèves géographes des officiers français et étrangers et d'une partie des élèves ingénieurs des TGE. Instructeur set élèves étaient alors détachés de l'Ecole au service de la Topographie pour effectuer des levés au 1:10 000 et au 1:20 000, qui étaient exploités pour la rédaction de la carte de base.

J. J. Levallois était mon aîné de 8 ans : il avait une réelle expérience des travaux de géodésie, acquise d'une part au service géographique de l'Armée, d'autre part à l'IGN entre 1940 et 1947. Quant à moi j'étais sorti de l'ENSG en 1943 et j'avais effectué durant 4 ans des levés topographiques au 1:10 000, au 1:20 000 en France, au 1:40 000 en Afrique du Nord ainsi que du complètement de levés photogrammétriques. En géodésie mes connaissances se limitaient à ce que j'avais appris à l'Ecole ; dans le cadre de ma scolarité j'avais participé à une brigade de géodésie primordiale de 2 mois et demi, à une brigade de géodésie complémentaire de 2 mois et demi et à un stage d'un mois d'astronomie de campagne effectué sous la direction de M. Tardi lui-même.

Les journées passées, soit dans nos bureaux, soit auprès des élèves étaient bien remplies, mais j'eus le privilège d'avoir de nombreuses conversations avec J. J. Levallois, la journée terminée lorsque nous marchions, côte à côte, le long du boulevard des Invalides et du Boulevard Montparnasse, jusqu'à l'ancienne gare Montparnasse, d'où

J. J. Levallois rejoignait son domicile, tout proche rue de l'Arrivée et où je prenais le métro pour rentrer chez moi.

Lorsque le temps était clément c'était presque tous les soirs que J. J. Levallois passait me prendre dans mon bureau vers 18 h pour marcher ensemble. Il me racontait ses souvenirs de géodésien lorsqu'il effectuait les travaux de triangulation de 1^{er} ordre du parallèle de Toulouse peu avant la guerre de 1939-45 et notamment à la station de Puylaurens qu'il avait suggéré à M. Tardi pour y diriger le premier stage d'astronomie, auquel j'ai participé.

M. Tardi avait l'intention louable d'organiser les stages d'astronomie des ingénieurs élèves géographes en des stations de géodésie primordiale, de manière à pouvoir y déterminer les déviations de la verticale et à entreprendre une carte du géoïde. Au bout de 2 ou 3 stages de cette nature, en raison de difficultés d'ordre logistique M. Tardi renonça à son idée initiale et choisit le site de Goult près de l'observatoire de St Michel de Haute Provence pour y effectuer l'instruction astronomique des élèves des deux divisions d'ingénieurs.

J. J. Levallois me racontait aussi ses souvenirs de la triangulation qu'il avait effectués dans la région de St Gaudens en vue d'une cartographie au 1:20 000 des zones susceptibles de comporter des gisements de pétrole et de gaz naturel. Il me raconta certains déboires qu'il eut lors de la construction du signal de la "Tour d'Ausseing", point de 1^{er} ordre de la chaîne de triangulation des Pyrénées des ingénieurs géographes du 19^e siècle. Ce point géodésique dénommé à l'époque "Gardan de Montagu" avait été observé en 1826 et 1827 par les ingénieurs géographes Coraboeuf et Testu. Sa position excentrée par rapport à la chaîne axiale des Pyrénées est expliquée par Béraldi dans son ouvrage "Balaitous et Pelvoux", où il décrit ce qu'il appelle "l'odyssée" pyrénéenne des ingénieurs géographes.

Dans un premier projet Coraboeuf avait envisagé de stationner le "Puy de Rious", appelé par les Espagnols le



■ ■ ■ "Montarto d'Aran". Cela aurait donné un enchaînement de triangles assez rectilignes, mais les Espagnols s'opposèrent à ce que les ingénieurs géographes effectuent une station géodésique sur leur territoire. C'est la raison pour laquelle Corabœuf dut modifier son projet et faire une sorte de détour par le signal " Gardan de Montagu", devenu par la suite "Tour d'Ausseing".

Etant luchonnais j'avais eu connaissance, avant mon arrivée à l'IGN, de la reconnaissance et des observations effectuées en 1825 et en 1827 par les ingénieurs géographes Peytier et Hossard à la "Tusse de Maupas", pic de plus de 3 000 m, que j'avais eu l'occasion de gravir à deux reprises. Le signal en forme de tourelle de pierres sèches, dressé par Peytier et Hossard, s'étant écroulé, il avait du faire deux fois l'ascension de la Tusse de Maupas pour y reconstruire leur signal en 1825. En 1925 fut posée sur l'établissement thermal de Luchon une plaque commémorant le centenaire de la reconnaissance du Maupas et de la construction de son signal par Peytier et Hossard.

Nous avons lu J.J. Levallois et moi l'ouvrage "Balaitous et Pelvoux" de Beraldi, où celui-ci montre bien que ces ingénieurs géographes avaient dans les Pyrénées et les Alpes fait l'ascension de certains de ces sommets de plus de 3 000 m pour la première fois. Grand fut en effet l'étonnement des premiers pyrénéistes anglais, qui à partir de 1860 gravirent ces hauts sommets, en croyant qu'ils étaient les premiers à le faire et qui découvraient des vestiges des campements des ingénieurs géographes, qui avaient dressé leurs tentes à proximité du sommet, selon les directives de Corabœuf. J.J. Levallois aimait à évoquer cette époque héroïque de la triangulation française des ingénieurs géographes qui constitua la charpente de la carte d'Etat-major au 1:80 000.

Les travaux de triangulation de la région de St Gaudens effectués par J.J. Levallois et d'autres géodésiens servirent d'ossature aux levés topographiques de la feuille de St Gaudens et du Mas d'Azil, l'anticlinal de Plagne dans les Petites Pyrénées à cheval sur ces deux feuilles semblant présenter

des potentialités d'exploitation d'hydrocarbures analogues à ceux des gisements de St Marcet, situé de l'autre côté de la Garonne.

Je participai en 1943-44 aux levés topographiques au 1:20 000 de la feuille de Mas d'Azil ; lors de ceux-ci je fis connaissance de M. Schneegans, géologue en chef de la Régie autonome des Pétroles, très intéressé par nos courbes de niveaux, qu'il attendait pour faire des coupes géologiques précises en vue d'exploiter les ressources d'hydrocarbures de l'anticlinal de Plagne. M. Schneegans avait très bien connu J. J. Levallois et apprécié son efficacité lors des travaux de triangulation qu'il avait dirigé deux années, je crois, auparavant. Mais outre l'évocation de ces souvenirs parfois communs, lors de nos trajets pédestres, J. J. Levallois abordait des sujets plus techniques.

Convaincu de la nécessité de compenser les triangulations, il regrettait que la triangulation des ingénieurs géographes n'ait été compensée, alors qu'on connaissait à l'époque la théorie des moindres carrés élaborée par Gauss. A propos de compensations il me citait le professeur Bouasse de l'Université de Toulouse, auteur d'un certain nombre d'ouvrages de mathématiques et de physique, parmi lesquels, dans l'un d'entre eux, Bouasse avait qualifié de "tripatouillages" les opérations de compensation.

Lors de ma première année comme chef de division, j'avais été chargé par M. Tardi de procéder à la place du général Laborde aux interrogations des élèves ITGE de 2^e année sur son cours de théorie des surfaces. Sur les 15 élèves ingénieurs un seul avait assimilé correctement cet enseignement, mais les 14 autres avaient été nettement dépassés par ce cours. Ayant rendu compte de ce fait à M. Tardi, il me chargea de faire à partir de l'année scolaire 1948-49 un enseignement plus simple à la portée des élèves, dont il précisa lui même le titre "compléments de géométrie", et qui devait servir d'introduction aux enseignements de géodésie mathématique et d'astronomie. Je me mis à rédiger le polycopié de ce cours,

pour lequel J. J. Levallois me prodigua, au cours de nos marches, de nombreux et judicieux conseils.

Il n'était pas de ceux qui de leur piédestal de géodésien affectaient un certain mépris pour la topographie et les levés à la planchette. Il s'était lié d'amitié avec des officiers topographes du service géographique de l'Armée, qui effectuaient durant des campagnes d'hiver des levés à l'échelle du 1:40 000 en Afrique du Nord, en vue de la publication des cartes au 1:50 000.

Il appréciait les qualités de rendu expressif des formes de terrain de ses brillants topographes, comme le fit d'ailleurs aussi le grand géographe Emmanuel de Martonne. J'évoquais moi-même le souvenir de mes levés en Afrique du Nord, effectués dans des conditions matérielles difficiles. J.J. Levallois fut donc pour moi "l'ancien" qui me fit profiter de ses expériences ; il fut aussi le camarade, puisque nous nous tutoyions et enfin l'ami, auquel il n'hésitait pas à faire certaines confidences. Il s'en voulait d'avoir commis une erreur, qu'il jugeait grossière dans son cours de topométrie au CNAM : il en était très contrarié et m'en parla à plusieurs reprises. Je le consolais de mon mieux en lui rappelant le vieil adage : "Errare humanum est". Il me parlait aussi souvent de musique classique, qu'il affectionnait particulièrement.

Tels furent durant quatre années de 1947 à 1951 mes rapports avec le regretté J. J. Levallois. Il y a quelques années il eut la douleur de perdre son épouse, dont l'état de santé lui causa toujours du souci ; je ne fus au courant de ce décès qu'après et nous échangeâmes une longue conversation téléphonique. Mon dernier contact avec J. J. Levallois eut lieu aussi au téléphone avant les obsèques de notre ami Roland Sallat, chef de la division des adjoints techniques à l'époque (1947-1951), qui le secondait efficacement durant la période des travaux de terrain à Goult. Il m'exprima son grand regret de ne pouvoir assister, par suite de son état de santé, aux obsèques de notre camarade. ●

Publication des résultats du premier Prix de l'AFT pour les Jeunes Ingénieurs Diplômés en topographie

Nous publions dans ce numéro les articles primés par le premier Prix de l'AFT pour les Jeunes Ingénieurs Diplômés en TOPOGRAPHIE.

L'objectif d'un tel prix est de valoriser les travaux scientifiques des jeunes ingénieurs diplômés et de promouvoir l'innovation et la diversité de nos métiers à travers la vision des nouvelles générations.

L'ensemble des candidatures a été étudié mais pour rester en conformité avec les conditions générales de participation publiées dans le N°89 de la revue XYZ (4^e trimestre 2001). Seules les propositions des postulants ayant satisfait ces conditions ont été retenues. Nous remercions les candidats qui nous ont soumis un article.

Le jury était composé d'un collège de professionnels et de professeurs des différentes écoles d'ingénieurs françaises de topographie. Il a été présidé par le comité de rédaction de la revue qui s'est chargé de synthétiser l'ensemble des avis reçus.

Cyrille Maire se voit décerner le premier prix gratifié d'un montant de 600 euros, et Jean-Baptiste Henri le prix d'honneur doté de 400 euros.

Ces deux lauréats seront invités par l'AFT pour la remise de leur prix à l'occasion d'une cérémonie qui se fera conjointement à la présentation du nouveau livre de M. D'Hollander : "Sciences Géographiques dans l'Antiquité, Connaissance du monde, Conception de l'univers" dans le courant du mois de janvier 2003.

Le comité de rédaction de la revue XYZ encourage les jeunes ingénieurs diplômés récemment à postuler à la seconde édition de ce prix. Les conditions de participation sont publiées dans ce numéro et sont consultables sur le site Internet de l'AFT : www.aftopo.org.

Le comité de rédaction

Evaluation de l'apport de de Très Haute Résolution de dégâts de tempête

Etude du massif de Haguenau (Alsace) réalisée au SERTIT en 2001

■ Cyrille MAIRE



© SERTIT - 2000

Les tempêtes de décembre 1999 ont causé des dégâts considérables dans les massifs forestiers français, allemands et suisses. Les données de l'Observation de la Terre comme source d'informations peuvent être une manière économique et rapide de dresser une cartographie des zones sinistrées comme l'ont montré de nombreuses études à partir de données optique et radar. L'apport de la très haute résolution peut-elle apporter une contribution supplémentaire significative?

■ MOTS CLES

Télédétection,
très haute résolution,
radar, Spot 5, InSAR,
MNE, dégâts forestiers

Le SERTIT (Service Régional de Traitement d'Images et de Télédétection) a été mandaté par le département QTIS du CNES, dans le cadre du programme ADEMA 2000 pour réaliser l'évaluation en milieu forestier du futur capteur très haute résolution Spot 5 à partir de données simulées (lancement réalisé en mai 2002), mais aussi de données radar préfigurant les futures générations de capteurs (horizon 2006-2010). L'étude réalisée à partir de données optique et radar aéroportées sur le site test du massif de Haguenau confirme l'intérêt de ces données pour la détection de dégâts en milieu forestier.

données optique et radar (THR) pour la cartographie en milieu forestier

Introduction et problématique

■ Etat de l'art

Les tempêtes de décembre 1999 ont engendré des dégâts conséquents dans les forêts, ravageant ainsi les efforts de plusieurs décennies d'exploitations. Devant l'ampleur de cette catastrophe, un état des lieux devait être rapidement produit pour planifier les actions à court et à long terme des organismes forestiers, des compagnies d'assurances, mais également des services de sécurité.

Cet inventaire sur le territoire français a été effectué de différentes façons. Les services de l'Office National des Forêts (ONF) se sont rendus sur le terrain pour évaluer les dégâts. Cependant, ce lever représente beaucoup de travail et ne constitue pas un moyen très rapide de réaction.

Des campagnes de photographies aériennes ont été entreprises bien que leur réalisation et leur exploitation soient très longues donc coûteuses. L'Inventaire Forestier National (IFN) a entrepris une photo-interprétation à partir de photographies aériennes au 1:30000 sur l'ensemble du territoire [IFN, 2000]. Les délais d'acquisition et de traitement se sont avérés très longs et la phase de photo-interprétation fastidieuse pour une telle étendue à cartographier. De plus, elles ne constituent pas toujours un moyen suffisamment rapide d'intervention et l'on reste tributaire des conditions météorologiques pour la planification des campagnes de vol, sans compter le temps et les moyens humains requis pour la photo-interprétation.

Les données d'Observation de la Terre, par leur vision synoptique et les possibilités de traitements semi-automatiques, semblent constituer une alternative intéressante en terme de coût et de délais.

Si l'on trouve beaucoup de publications sur les applications des données satellitaires en foresterie, peu de travaux sont consacrés à l'évaluation des dégâts de tempête, la détection de dégâts forestiers semblant avant les événements de 1999 être perçue comme une application mineure [Mukai, 1999]. Toutefois, l'intensité et la globalité des tempêtes de décembre ont suscité un intérêt particulier. Ainsi, une mobilisation de

moyens par le CNES et l'ESA principalement a permis d'effectuer différents tests. La comparaison des données avant et après tempête devait permettre d'obtenir rapidement une bonne évaluation des dégâts.

Dans ce contexte, une étude a été réalisée sur le site de la forêt de Haguenau, à partir de données radar de cohérence, issues d'images SAR ERS Tandem, pour individualiser les zones de dégâts et quantifier leur importance. Cette étude a démontré les fortes potentialités de ce type de données [Hermann et al. 2000, Yésou et al, 2000]. Cependant, avec l'arrêt en mars 2000 de ERS-1, cette technique n'est plus accessible. Elle pourra toutefois être mise en œuvre avec des futurs systèmes présentant des délais de revisite relativement court, tel Cosmo-Skymed, composante radar du programme Franco-Italien Roméo.

Quant à l'imagerie optique, quelques travaux ont été réalisés à partir de données issues des satellites Spot 4 ou Landsat™ [Mukai, 1999]. Ces travaux ont montré que l'utilisation de l'imagerie satellitaire peut être pertinente pour effectuer une évaluation de dégâts forestiers même s'il subsistait des difficultés dans les massifs de feuillus. Dans ce contexte, le SERTIT a été mandaté par le CNES pour réaliser l'évaluation en milieu forestier du futur capteur très haute résolution (THR) Spot 5 (lancement en mai 2002) à partir de données simulées, mais aussi de données radar interférométriques (InSAR) THR préfigurant les futures générations de capteurs (horizon 2005-2010).

Cette étude avait également pour but de promouvoir l'utilisation des données de l'Observation de la Terre au sein de la communauté forestière.

Trois approches ont ainsi été menées en parallèle sur le site de Haguenau :

- Différences de Modèles Numériques d'Élévation (MNE) THR.
- Réalisation de photo-interprétation à partir de données optique et radar.
- Traitements à partir de simulations aéroportées du futur satellite du CNES, Spot 5.

Une comparaison des résultats obtenus permet d'analyser et d'évaluer les différentes approches pour la détection des dégâts forestiers.



■ Le site d'étude

L'étude a été réalisée sur la forêt indivise de Haguenau d'une superficie de 13 500 ha, située dans la plaine d'Alsace à environ 30 km au nord de Strasbourg. Ce massif constitue la première forêt alsacienne et la sixième forêt française dans le classement par taille de propriété. Mais il est également remarquable à d'autres points de vue [Geldreich, 1999] :

- Diversité des peuplements de feuillus et de conifères,
- Importante variabilité des caractéristiques géologiques, pédologiques, géomorphologiques du sol (caractéristiques stationnelles),
- Topographie générale très plane, variation d'altitude de 115 à 205 m sur une largeur de 30 km,
- Action anthropique qui au travers d'une sylviculture intensive depuis deux siècles a façonné une véritable mosaïque d'essences et de classes d'âge.

L'importance de cette forêt et son exploitation rationnelle ont conduit les services de l'ONF à constituer une base de données géographiques pour gérer un ensemble de 2 700 sous-parcelles de surface variable (0.30 à 17 ha) au niveau desquelles les caractéristiques stationnelles et les peuplements forestiers sont homogènes.

Les tempêtes du 26 décembre 1999 ont fortement frappé le secteur de Haguenau, qui a concentré 40 % des dégâts de la région Alsace. Dans l'urgence, les services de l'ONF ont réalisé un inventaire des peuplements affectés dans les quinze jours qui ont suivi l'évènement. Cet inventaire était basé sur la quantification moyenne par sous-parcelle de gestion de l'intensité des dégâts. Une cartographie ainsi qu'une estimation globale et détaillée du phénomène ont été disponibles dès fin janvier 2000. Les dégâts ont été évalués à 1 million de mètres cube de bois renversé ou cassé et 3 000 ha à reconstituer.

Les peuplements de pin sylvestre ont été nettement plus touchés que ceux de chêne, puisqu'ils ont été détruits à 70 % en moyenne; seules les régénérations d'âge inférieur à 15 ans ont été épargnées. La cartographie de l'intensité des dégâts par sous-parcelles ainsi que les données principales de peuplement (essences principales par étage, âge moyen) ont été mises à disposition. Ces données ont servi de référence pour l'analyse des résultats de l'étude.

Mise en place de la base de données

■ Présentation des données

Plusieurs types de données ont été employés :

- Données radar aéroportées interférométriques THR acquises après la tempête par la société Aerosensing avec le capteur AeS-1, consistant en des images d'amplitude d'une résolution spatiale de 50 cm, données de cohérence et produits dérivés type MNE,
- Données optiques acquises avant et après la tempête : données simulées Spot 5 THR XS (multi-spectrale, résolution 10 m) et "super mode" (panchromatique, résolution 2.5 m), des données Spot 4 (multi-spectrale, résolution 10 m, avant et après tempête),

- Données vectorielles : base de données du site de Haguenau fournies par l'ONF,
- Données exogènes : Celles ci correspondent à :
 - des relevés de terrain et des photographies aériennes,
 - des données de foresterie, des modèles de croissance arboricoles (ONF),
 - un modèle numérique de terrain (MNT) basse résolution.

Sur ces données géoréférencées, des distorsions géométriques ont été mises en évidence. En planimétrie, ces phénomènes sont présents pour les données InSAR et pour les données simulées Spot 5 dans une moindre mesure et localement. Un basculement altimétrique global de 0.1 % a été constaté sur le MNE InSAR. Afin de corriger le MNE post tempête mais aussi de consolider la base de données, il est apparu que seules des données GPS acquises en mode différentiel statique permettraient d'obtenir une référence fiable et précise du fait de la très haute résolution des données INSAR (0.5 m).

Ce procédé permet également de s'affranchir d'éventuels problèmes de communication entre les récepteurs GPS dus au travail en zone forestière et à des lignes de bases trop élevées pour une exploitation en mode dynamique.

■ Campagne GPS

La durée (une semaine) et l'étendue du chantier (13 500 ha) ont justifié l'implantation d'un point de référence au milieu de la forêt. La saisie des points de calage se faisant après l'acquisition des données, les points à lever devaient satisfaire aux limitations du terrain et des images, constituer un maillage homogène et si possible être redondants sur les différents couples de données. Pour tenir compte de ces paramètres, la base de données était nécessaire sur le terrain. Les données de positionnement du GPS de navigation ont également été intégrées dans la base de données. Le repérage en pleine forêt devenant très rapidement compliqué, la localisation en temps réel a permis d'optimiser les temps de déplacement entre les points.

La longueur des lignes de bases a ainsi été réduite à moins de dix kilomètres, permettant d'obtenir des précisions homogènes (emq: plani <2 cm, alti <5 cm) sur le réseau de points levés et des temps d'observations plus courts. Ce matériel onéreux a été mis gracieusement à disposition par le laboratoire de Topographie de l'ENSAIS (figure 1).



Figure 1 : Campagne GPS

Le GPS différentiel permet d'obtenir une précision centimétrique en planimétrie et en altimétrie dans les conditions d'acquisition mises en œuvre sur le site. Les mesures ont été effectuées avec des sessions de 10 minutes en statique, cadencées à une mesure toutes les dix secondes. Les points levés ont été acquis dans des conditions favorables au niveau des masques générés par les arbres. L'utilisation d'un GPS bi-

fréquence permet de diminuer les temps d'observations et d'augmenter la précision [Botton, 1997]. Toutefois, la précision réelle des points est davantage conditionnée par la photo-interprétation et par le positionnement du point sur le terrain. Ainsi, si le point à lever est facilement identifiable sur l'image et si les conditions du terrain le permettent, une précision de lever de l'ordre de ± 50 cm est envisageable.

De multiples contrôles et la phase de post-traitement ont ainsi permis de générer une référence fiable (précision géométrique décimétrique) pour corriger les données. Il est certes regrettable d'utiliser un GPS en mode différentiel statique pour obtenir une précision finale inférieure au mètre. Cependant, comparées aux erreurs de positionnement du point et de photo-interprétation, les données fournies par le GPS en mode différentiel statique peuvent être considérées comme des valeurs vraies, contrairement à celles d'un GPS de navigation.

■ Compensation altimétrique du MNE InSAR

Pour corriger l'altimétrie du MNE InSAR, outre le semis de points GPS, le MNT basse résolution a été intégré dans le processus de correction. Son utilisation est tolérée du fait du faible relief de la zone d'étude. Le nombre de points GPS étant trop faible pour modéliser correctement les écarts du MNE InSAR, le MNT basse résolution après ajustement avec le semis de points GPS a permis de densifier le nombre de points de comparaison. Cette densification permet de générer une modélisation plus réaliste des écarts altimétriques (figure 2).

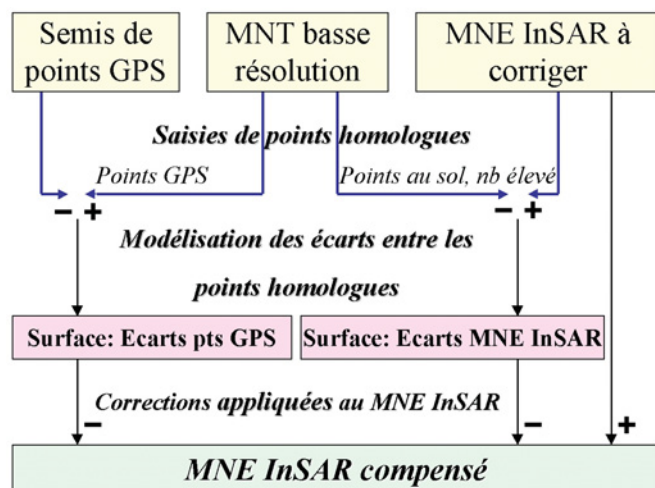


Figure 2 : Correction du MNE InSAR post tempête.

La figure 2 présente les différentes opérations réalisées (additions, soustractions de surfaces) à partir des données d'Observation de la Terre et des surfaces générées à partir des semis de points GPS ou extraits du MNT basse résolution.

Le MNE post tempête a été sous-échantillonné à 1.5m afin de lisser les variations altimétriques très localisées et inhérentes tant à sa résolution spatiale élevée, au processus d'acquisition (bande X, angle d'incidence) qu'à l'occupation du sol. Le MNE InSAR post-tempête (figure 3b) représente pour les parties boisées la canopée après la tempête ; les dégâts causés sont intégrés à ce modèle d'élévation.

Différences diachroniques de MNE

La disponibilité d'un MNE pré-tempête doit permettre de mettre en évidence les dégâts par différences de MNE avant et après tempête.

■ Génération d'un MNE pré tempête

Un MNE en milieu forestier peut être comparé à la superposition d'un MNT et de la hauteur du couvert végétal. Ce MNE pré-tempête a été généré en associant :

- Un MNT basse résolution compensé grâce au semis de points GPS,
- La base de données ONF décrivant, âges et peuplements dominants par parcelle,
- Des modèles de croissances arboricoles, élaborés par les services de l'ONF.

Une hauteur moyenne d'arbre par parcelle peut être générée grâce à des modèles de croissance relatifs aux essences dominantes du site de Haguenau. La superposition de cette hauteur d'arbre et du MNT compensé par le semis de point GPS permet de réaliser une simulation d'un MNE pré-tempête (figure. 3a). Afin d'affiner la modélisation, les principaux impacts anthropiques du site ont été intégrés (coupes à blanc, voirie...).

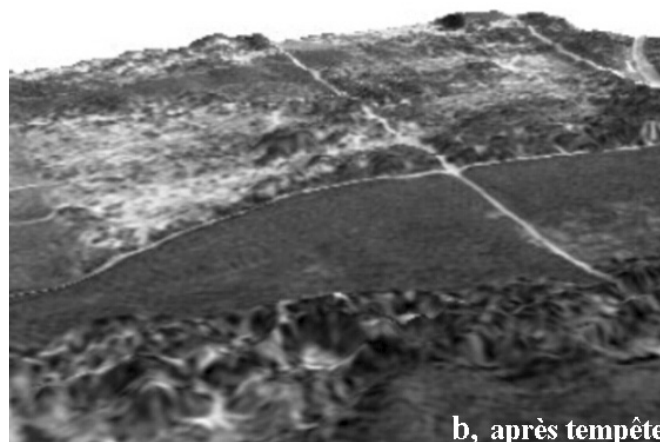
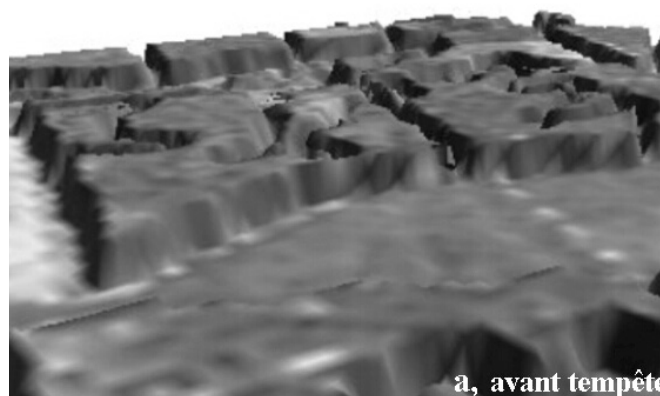
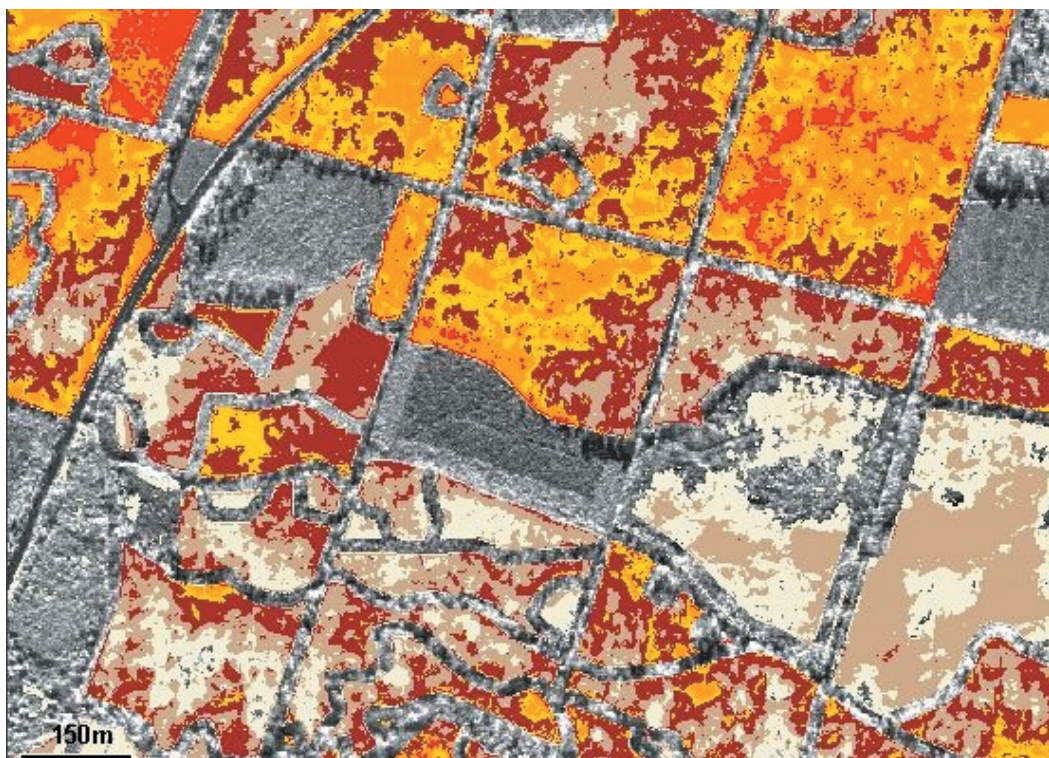


Figure 3 : Vue perspective d'une zone avant (MNE simulé (a)) / après événement (MNE InSAR (b)) surimposé par des données SPOT 5 THR panchromatique (même exagération en Z).

Figure 4 : Différence simple de MNE, superposée sur les données d'amplitude radar.



Validation du MNE pré tempête

Lors de la génération de la hauteur de la canopée (par parcelle), un facteur d'imprécision du couvert végétal réside dans l'assimilation d'une information ponctuelle telle que la hauteur dominante des arbres par espèce à toute une surface. De fait, la modélisation du couvert végétal est traduite par une bonne approximation de la cime des arbres et globalement de la couronne. En contrepartie, de fortes discordances très localisées sont générées entre les couronnes.

Ainsi, l'uniformisation de la canopée risque de se traduire par une surestimation de la hauteur moyenne de la canopée, inhérente aux discordances du modèle. La précision altimétrique du produit généré a été évaluée à 3 mètres, ce qui en milieu forestier est très satisfaisant. La comparaison des deux MNE, témoignant l'état avant et après les passages des tempêtes de 1999 peut donc être effectuée. La concordance relative des deux MNE a tout d'abord été analysée, en planimétrie et en altimétrie. Le MNT basse résolution a été intégré dans les corrections des deux MNE, les données ne sont donc pas indépendantes mais se prêtent toutefois à une approche relative.

Cartographies des dégâts de tempête réalisées

Au cours de cette étude, deux calculs ont été effectués sur les MNE :

a - Cartographie de dégâts par différence simple de MNE :

Afin d'extraire les zones de dégâts, les produits obtenus par différence simple ont été seuillés en prenant en compte le type de peuplement (feuillus/conifères). Le choix des seuils représente une étape primordiale. En effet, les variations du couvert végétal sont très importantes selon les peuplements et leurs âge. Il a donc été nécessaire de travailler avec des seuillages importants (14 m) pour réaliser une cartographie binaire des dégâts. Ce seuil représente un bon compromis, limitant fausses et non détections de dégâts, mais excluant par la même occasion les jeunes plantations des traitements de détection de dégâts.

Ecarter une partie importante des parcelles par un seuil élevé peut d'une certaine manière discréditer la méthode. Cependant, selon les services de l'ONF, les populations de moins de 12-14 ans n'ont pas été affectées par la tempête. Par contre, les peuplements compris entre 15 et 20 ans (qui

Afin d'extraire les zones de dégâts, les produits obtenus par différence simple ont été seuillés en prenant en compte le type de peuplement (feuillus/conifères). Le choix des seuils représente une étape primordiale. En effet, les variations du couvert végétal sont très importantes selon les peuplements et leurs âge. Il a donc été nécessaire de travailler avec des seuillages importants (14 m) pour réaliser une cartographie binaire des dégâts. Ce seuil représente un bon compromis, limitant fausses et non détections de dégâts, mais excluant par la même occasion les jeunes plantations des traitements de détection de dégâts.

constituent environ 10 % des plantations) ont une hauteur proche du seuil choisi. Ces massifs sont affectés mais leur détection est plus délicate; en effet, la nature des dégâts complique leur mise en évidence, les arbres ayant été courbés par la tempête. Ces parcelles sont donc considérées comme totalement détruites pour les services de l'ONF, mais ne sont pas mises en évidence par une différence simple de MNE.

b - Cartographie de dégâts par différence pondérée de MNE :

Afin de mieux détecter les dégâts dans les jeunes plantations, la différence simple de MNE a été pondérée par la hauteur des peuplements. Un taux de dégâts T_x calculé est donc généré et semble être un très bon estimateur des dommages causés par les tempêtes.

$$T_{x \text{ calculé}} = \frac{H_{\text{avtempête}} - H_{\text{posttempête}}}{\text{Hauteur}_{\text{peuplement}}}$$

L'évaluation des dégâts peut ainsi être réalisée sur des grandeurs comparables. Les jeunes plantations présentant des dégâts sont détectées et également celles où les arbres sont courbés. Les résultats générés restent toutefois moins précis pour les jeunes peuplements, où les écarts de modélisation et de calage entre les MNE ont une contribution importante.

Les irrégularités de la canopée en fonction du type de peuplement (feuillus/conifères) se traduisent par une modélisation plus ou moins fine de la canopée, et donc une détection variable des dégâts. Afin de limiter ces effets inhérents aux imprécisions de modélisation du MNE avant tempête, une distinction entre les types de peuplements a été réalisée. Celle-ci est particulièrement justifiée pour les peuplements âgés de feuillus, où de nombreux problèmes ont été rencontrés.

La pondération des différences de MNE illustre plus justement les taux de dégâts en étant sensible aux dégâts dans les jeunes plantations. Les cartographies obtenues sont très satisfaisantes, surtout si l'on réalise la distinction des types de peuplements. Ces constats ont été confirmés par une analyse statistique, détaillée par la suite.

Autres méthodes mises en œuvre

■ Cartographie de dégâts à partir de simulations SPOT 5

Le second type de données utilisées pour réaliser des traitements automatiques sont les simulations optiques de Spot 5. Cette méthode nécessite une détermination précise de l'emprise forestière mise en évidence à l'aide de simulations multi-spectrales de Spot 5 acquises avant la tempête.

Une approche diachronique sur les données panchromatiques THR (résolution de 2.5 m) a permis de mettre en évidence les zones affectées. Des résultats très proches sont obtenus en réalisant une approche diachronique sur les données multi-spectrales [Meyer et al, 2001]. Les cartogra-

phies obtenues sont de très bonne qualité mais leur élaboration, très rapide, nécessite de disposer d'archives.

La date d'acquisition est toutefois un facteur limitant, notamment dans les peuplements de feuillus lors d'acquisition hivernale. En effet, la détection visuelle des dégâts dans les massifs de feuillus est difficile. Une photo-interprétation (PIAO) a été réalisée à partir des données optiques métriques (1.2 m) afin de vérifier si le saut vers une résolution plus importante était significatif lors d'acquisitions en période hivernale.

La cartographie par PIAO est cette fois possible, mais elle reste encore délicate pour les massifs de feuillus.

Ceci montre tout l'intérêt du passage à une résolution encore plus importante (60-80 cm), comme ce sera le cas pour les données de la constellation Pléiades. Leur exploitation en parallèle avec les données THR de juin 2000 met en évidence l'apport de données multi-temporelles pour le suivi des travaux de déblaiements.

■ Cartographie de dégâts par Photo interprétation de données d'amplitude radar

L'imagerie d'amplitude radar a quant à elle permis de réaliser une cartographie binaire des dégâts (figure 5).

La perception des détails en imagerie radar est différente de celle perçue par l'œil humain. L'angle d'acquisition élevé (entre le passage de l'avion et la scène observée) induit des effets d'ombrages importants. D'autre part, la finesse de l'image engendre des saturations du signal causées par la perpendicularité des nombreux réflecteurs par rapport aux capteurs. Ce phénomène est souvent observé pour les lisières de bois. Malgré tout, la finesse des détails de ces données THR permet une interprétation aisée.

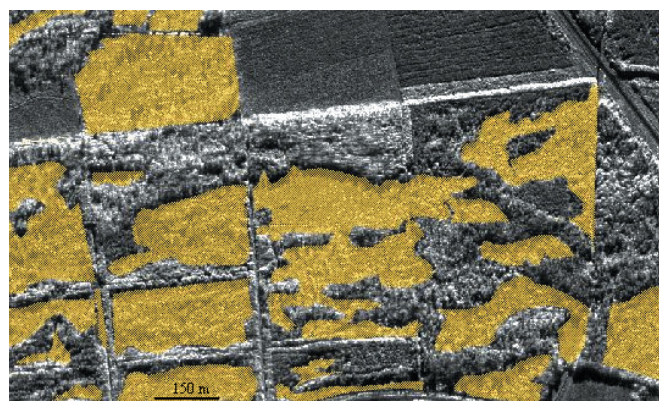


Figure 5 : PIAO à partir des données d'amplitude radar

Plusieurs constats ont été réalisés suite à l'analyse et l'exploitation de données d'amplitude radar THR :

- Apport d'informations complémentaires à l'imagerie optique THR,
- Détection des dégâts possible dans les massifs de feuillus en hiver,
- Détection des dégâts diffus et intermédiaires délicate,
- Nombreuses omissions pour les trouées locales de faibles extensions,



- ■ ■ • Passage d'une résolution spatiale de 0.5 à 1.5 m peu significatif pour la qualité de détection, mais forte décimation lors d'un passage à 3 m,
- Apport des données de cohérence pour l'amélioration des cartographies.

L'importante résolution des données, véhiculant ainsi un nombre important de détails, de structures, d'objets limite les processus classiques employés en télédétection pour réaliser des classifications. L'apport de l'analyse des textures devrait être un outil très prometteur pour une exploitation plus complète et automatique des données de très haute résolution optique et radar [Datcu, 1998].

Synthèse des résultats

Deux approches de validation des différentes cartographies de dégâts ont été mises en œuvre. La première de type quantitative et spatialisée consiste à confronter les résultats obtenus aux données de terrain recueillies par l'ONF servant de référence. La seconde, de type qualitatif, a été effectuée par analyse visuelle sur les zones caractéristiques (et notamment celles mises en évidence par la première approche).

On constate que la comparaison des surfaces des zones sinistrées, relevées par les services de l'ONF et celles mises en évidence par les différentes méthodes employées sont relativement proches.

La ventilation des dégâts à l'échelle de la parcelle devrait quant à elle permettre des comparaisons statistiques et spatiales des données produites avec la cartographie de dégâts réalisée par les services de l'ONF. Cette approche permet de localiser à l'échelle de la parcelle les détections cohérentes et divergentes. Les cartographies de dégâts obtenues peuvent ainsi être intégrées complètement à la base de données ONF et permettre d'utiliser pleinement l'outil SIG pour mieux analyser les résultats.

Méthode employée	Distinction feuillus/conifères		
	TxQlté	TxFD	TxND
Différence simple de MNE	0.79	0.12	0.15
Différence pondérée de MNE	0.84	0.10	0.08
PIAO Amplitude radar	0.68	0.09	0.49
Simulations Spot 5	0.85	0.08	0.10

Tableau 1 : Indicateurs de qualités obtenus par différentes méthodes.

Plusieurs types de parcelles sont alors mises en évidence pour chaque méthode (référence : cartographie de dégâts ONF) :

- Les parcelles concordantes dans la classification dégâts/non dégâts (Bonne détection : BD)
- Les parcelles intactes classées en dégâts à partir des données spatiales (Fausse détection : FD)
- Les parcelles de dégâts omises (Non détection : ND)

Des indicateurs de qualité ont alors été générés permettant de représenter les corrélations des résultats obtenus à partir des différentes méthodes par rapport à la référence ONF (tableau 1).

$$TxQlté = BD \quad TxFD = \frac{FD}{BD} \quad TxND = \frac{ND}{BD}$$

Les résultats obtenus sont très satisfaisants et prometteurs pour les simulations Spot 5 et la différence pondérée de MNE. Une étude complémentaire sur l'âge des peuplements a montré l'homogénéité des détections de dégâts réalisées à partir des données simulées Spot 5 et par différence pondérée de MNE.

D'autre part, la complémentarité des données optique et radar a été mise en évidence par une étude comparative entre les différentes méthodes mises en œuvre.

La différence diachronique de MNE, est une démarche ambitieuse et originale, elle permet d'obtenir des cartographies très précises des dégâts. Les principales limitations rencontrées dans cette application sont inhérentes à la simulation du Modèle Numérique d'Élévation témoignant l'état initial de la forêt. Des résultats comparables devraient être obtenus avec les données InSAR des futurs systèmes imageurs opérationnels à l'horizon 2006-2010 tels que Cosmo-Skymed, Roue Interférométrique ou encore TerraSAR. Des résultats encore plus prometteurs devraient être escomptés grâce aux études polarimétriques de données InSAR acquises en bande L [Reigber et al, 2001]. Les données simulées Spot 51 permettent, quant à elles, d'obtenir des cartographies des dégâts par parcelle très proches de celles relevées sur le terrain par les services de l'ONF.

Conclusions et perspectives

L'apport de données optique et/ou radar de Très Haute Résolution pour la cartographie de dégâts forestiers est établi. L'étude montre également la nécessité de disposer de données historiques.

La différence diachronique de MNE, est une démarche ambitieuse et originale, elle permet d'obtenir des cartographies très précises des dégâts. Les principales limitations rencontrées dans cette application sont inhérentes à la simulation du Modèle Numérique d'Élévation témoignant l'état initial de la forêt.

Des résultats comparables devraient être obtenus avec les données InSAR des futurs systèmes imageurs opérationnels à l'horizon 2006-2010 tels que Cosmo-Skymed, Roue Interférométrique ou encore TerraSAR. Des résultats encore plus prometteurs devraient être escomptés grâce aux études polarimétriques de données InSAR acquises en bande L [Reigber et al, 2001]. Les données simulées Spot 5' permettent, quant à elles, d'obtenir des cartographies des dégâts par parcelle très proches de celles relevées sur le terrain par les services de l'ONF.

Ainsi, les potentialités des données d'Observation de la Terre de très haute résolution ont été mises en évidence, pour la détection de dégâts forestiers et de manière plus générale pour la gestion forestière. L'intérêt des futurs systèmes imageurs est pleinement justifié pour les thématiques de foreries. Les résultats et le retour d'expérience obtenus au cours de ce projet laissent présager une forte progression de l'utilisation de données d'Observation de la Terre par les gestionnaires des espaces forestiers. ●

(1) Le lancement de SPOT 5 en mai 2002 a été un réel succès, les acquisitions commerciales ont débutées en juillet 2002. Des images SPOT 5 sur l'Alsace ont été acquises en juillet et septembre 2002. Fin 2002 les premiers résultats cartographiques obtenus par le SERTIT auront été transmis aux services forestiers (contacts pour de plus amples détails sur les projets Observation de la Terre - forêt Haguenau auprès de H. Yésou : herve@sertit.u-strasbg.fr).

Remerciements :

Je tiens à remercier M. Hervé Yésou mon maître de stage pour sa précieuse aide, ainsi que toute l'équipe du SERTIT, mais également le Laboratoire de Topographie de l'ENSAIS et M. Jacques LEDIG pour le prêt du GPS différentiel ainsi que Mme. Tania Neusch pour ses conseils avisés.

Quelques mots sur l'auteur :

Maire Cyrille, ingénieur ENSAIS en Topographie (2001), DEA Traitement d'Images (2002). Ingénieur de recherche au DLR (centre national de recherche aérospatiale allemand, Munich).

Projet actuel : amélioration et régularisation de MNT/MNE pour des perspectives de visualisation 3D en temps réel d'importantes bases de données géolocalisées.

Contact : cyrille.maire@dlr.de

Bibliographie :

ADRAGNA F, 1997 : *Interférométrie radar : Principe, applications et limitations*. Bull. SFPT n°148, 5 pages.

BOTTON S., DUQUENNE F. et al, 1997 : *GPS, Localisation et navigation*. Edition HERMES, 159 pages.

DATCU et al, 1998 : *Spatial information retrieval from Remote Sensing Images : - Part I : Information theoretical perspectives*, IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, vol 36, n°5 p 1431-1445.

DAMMERT P.B.G., 1996 : *Accuracy of INSAR measurements in forested areas*. Actes du Symposium Fringe.

GELDREICH P. 1999 : *La forêt indivise de Haguenau*. Arborecences n°78, janvier - février 1999, p12-34.

HOLECZ F., PASQUALI P. et al, 1998 : *Automatic Generation and Quality Assessment of Digital Surface Models generated from AeS-1 InSAR data, Proceedings of European Conference on Synthetic Aperture Radar in Germany*, 5pages.

IFN, 2000 : site internet : <http://www.ifn.fr/pages/fr/tempetes/index.html>.

MASSONET D., PERLANT F. et RABAUTE Th., : *Précision et niveau d'artefacts dans les calculs modèles numériques de terrain par interférométrie. Actes du colloque ESA-CNES "De l'optique au Radar. Les applications SPOT et ERS"*. Paris Mai 1993, Cépaduès éditions, pages 511-523.

MEYER C, GELDREICH P et YESOU H 2001 : *Apport des données simulées SPOT 5 pour l'évaluation des dégâts de tempête dans la forêt Cas de la forêt de Haguenau (France)*. Actes du Symposium Spot 5 Toulouse, Novembre 2001, CNES.ed.

MUKAI Y., HASEGAWA I.,1999 : *Extraction of damaged areas of windfall trees by typhoons using Landsat™ data*, International Journal of Remote Sensing, Volume 21, Issue 4, March 2000, pages 647-654.

REIGBER. A, PAPATHANASSIOU. K ET AL, 2001 : *SAR Tomography and Interferometry for the Remote Sensing of Forested Terrain*, Frequenz, 55, mars/avril 2001, p119-123.

YÉSOU H. et al, 2000 : *Mapping storm forest damage using SAR coherence data. The case of the Haguenau forest - France. Looking at our Earth for the New Millennium*. Gothenburg, October 2000, ESA SP 461.

ABSTRACT

KEY-WORDS : Remote sensing, very high resolution, InSAR, radar, Spot 5, DEM, forest damage

Remote sensing can be a good, effective and economic method to realise damage mapping due to the December 1999 storms that severely hit France's forestry. Many recent studies, confirm this geomatic solution with high resolution optical and radar data. Here, the question asked is whether higher resolution data give more efficient results?

The CNES has contracted SERTIT to evaluate both simulated data of the future SPOT 5 satellite, which is scheduled to be launched in May 2002, and VHR radar data which are considered as a prototype for a future sensor generation (2006-2010). These were taken during airborne imaging campaigns over the study area covering the Haguenau Forest test site with optical and interferometrical synthetic aperture radar (InSAR), airborne data and confirm the interest of the high resolution for damage detection in forestry areas.

Techniques spatiales et systèmes d'information pour la gestion des inondations

■ Jean-Baptiste HENRY, Ingénieur ENSAIS, doctorant SERTIT-CEREG

La prise de conscience des pouvoirs publics face aux risques d'inondations est telle que l'heure est au développement de systèmes d'information territoriale à grande échelle, capable d'aider à la prévention et à la gestion des crises. Dans le cas des inondations, la multitude d'intervenants et d'informations de tous ordres qui afflue vers les services impliqués, oriente ces derniers vers une réorganisation de leur politique de traitement de l'information pour la gestion de crise par l'utilisation des NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication). La télédétection spatiale se présente comme la source de données synthétiques, permettant d'alimenter des bases de données géographiques. Le système d'information tend alors vers la synthèse en temps rapide d'informations géolocalisées provenant de l'observation de la Terre, de l'observation météorologique, du terrain par le biais du GPS et de caméras... L'objectif est de rendre l'intervention sur la crise la plus efficace possible en produisant des informations claires pour alimenter les systèmes d'aide à la décision des gestionnaires de crise et en tenant compte des facteurs environnementaux, humains et matériels.

■ MOTS CLES

imagerie spatiale, inondations, systèmes d'information et d'aide à la décision

La problématique des risques naturels fait désormais partie intégrante des préoccupations des collectivités territoriales. Une preuve est que leurs prérogatives sur ces sujets n'ont cessé d'être augmentées depuis plusieurs années. C'est pourquoi la réflexion sur la conception de systèmes d'information et d'aide à la décision (SIAD), capables de synthétiser un grand nombre de données d'origines multiples, a été lancée. Au-delà de la simple conception d'un SIAD, cette étude met une nouvelle fois en évidence des sujets faisant régulièrement l'objet des débats publics et qui concernent la gestion du territoire.

Problématique

Sur le territoire français, le risque d'inondation est de loin le plus présent (fig. 1) et concerne près de deux communes sur trois. Malgré les dispositions prises par le législateur et comme on a pu le voir récemment, ce phénomène engendre

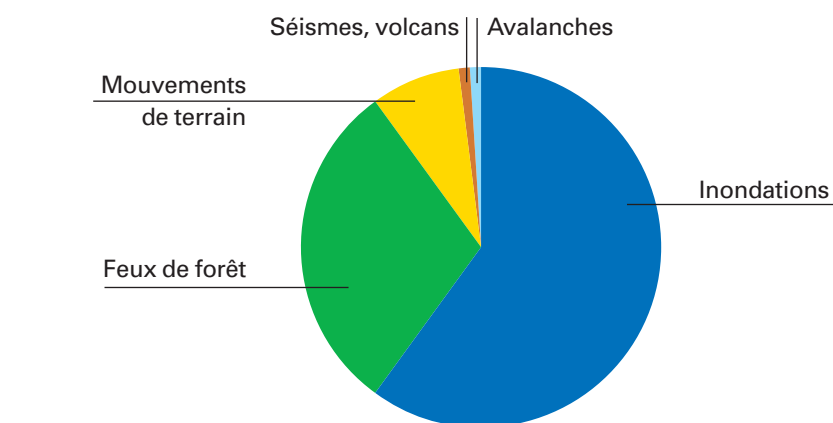


Figure 1. Répartition des risques naturels, ayant des enjeux humains sur le territoire français (IFEN)

des dégâts considérables de tout ordre. Il s'agit donc d'être en mesure de fournir une information objective et globale sur un territoire avant, pendant et après un événement hydrologique. L'objectif de cet article est de présenter les principaux résultats répondant aux besoins d'information exprimés par les services de gestion de crise, par le

biais des techniques spatiales. Celles-ci sont constituées d'une part de la branche imagerie (optique, radar), des données de positionnement GPS et d'autre part, des données dites environnementales, incluant la pluviométrie et l'hydrométrie. L'exploitation d'une telle variété d'informations conduit à la mise en place d'une

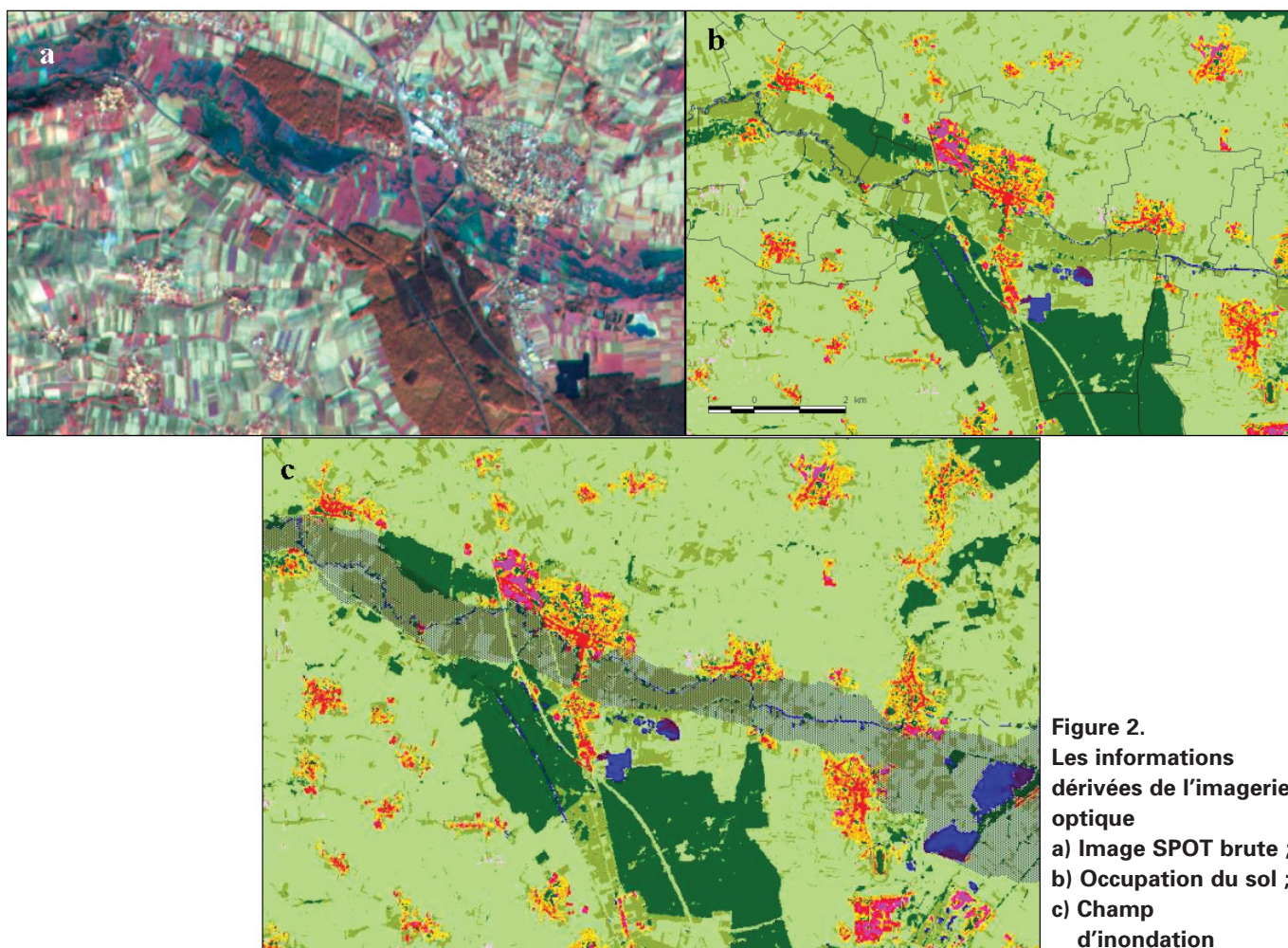


Figure 2.
Les informations
dérivées de l'imagerie
optique
a) Image SPOT brute ;
b) Occupation du sol ;
c) Champ
d'inondation

importante base de données, exploitée grâce aux outils et techniques des SIG. Ces différentes couches constituent des produits à forte valeur ajoutée qui ont, en grande majorité, fait l'objet d'une validation par les utilisateurs. Ce projet s'appuie sur l'étude menée sur la rivière Zorn (Alsace) par le SERTIT au cours du programme GENESIS 2000 (*Geospatial Emergency NETwork by Support of Imagery Services for year 2000*), piloté par EADS – Matra Systèmes et Information, sous l'égide de la Commission Européenne (programme IST).

Intégration d'images satellitaires

La base de données d'observation de la Terre peut intégrer différentes sources, optiques ou radar, du fait des multiples systèmes imageurs actuellement en orbite. Ces images nécessitent une part

importante de traitements et d'expertise avant leur intégration dans le système d'information (SI).

■ Les traitements en imagerie optique

Les traitements appliqués aux images optiques peuvent être scindés en deux catégories : les pré-traitements comprenant les préparations géométrique et radiométrique des données, et l'extraction thématique qui concerne autant la classification d'occupation du sol que la délimitation de champs d'inondations.

Tout d'abord, les traitements radiométriques consistent à éliminer les effets astronomiques par transformation des comptes numériques bruts en réflectance exo-atmosphérique (Begni, 1988). Cette étape de normalisation des valeurs contenues dans les images est capitale tant pour la réalisation de mosaïques, que pour permettre des

études diachroniques. Du point de vue géométrique, les images sont orthorectifiées, sur la base de cartes topographiques ou de produits déjà corrigés. La qualité de la correction est alors conditionnée par celle des données de référence, la précision et la résolution du modèle numérique de terrain, la connaissance et l'intégration de la géométrie d'acquisition.

L'extraction thématique a pour objectif de synthétiser l'information contenue dans l'imagerie satellitaire. Elle se base sur l'analyse des canaux d'acquisition et de certaines combinaisons linéaires de ces canaux. Ces indices sont un moyen d'accéder à l'intensité de phénomènes trop complexes pour être décrits par des paramètres simples (Bannari et al., 1995) : on citera par exemple les indices de végétation classiques ou les indices spécifiques développés par le SERTIT, afin d'exploiter pleinement les capacités du

■■■ capteur HRVIR de SPOT4 (Clandillon et al., 1995 a et b ; 1999).

Deux grandes familles d'informations sont extraites des données optiques (fig. 2) : la classification d'occupation du sol grâce à la mesure des paramètres bio-géophysiques, et les champs d'inondations historiques lorsque les conditions atmosphériques ont été assez clémentes pour permettre l'acquisition d'une image par un système passif.

■ Les traitements en imagerie radar

Au contraire de l'imagerie optique, l'imagerie radar dispose d'une capacité à fournir de l'information sur une zone quelles que soient les conditions atmosphériques, de jour comme de nuit. Malgré le niveau de traitement initial de ces données lors de leur fourniture par les centres de traitement de l'Agence Spatiale Européenne (ESA), elles nécessitent un fort apport d'expertise avant d'être pleinement exploitables et intégrables à la base de données thématiques. L'essentiel de ces traitements a pour objet la réduction de l'effet de chatoiement (speckle), qui réduit la 'lisibilité' des images. De nombreuses méthodes de filtrage spatial peuvent s'appliquer à une image seule (Neusch, 2000). Cependant, lorsqu'une série d'images est acquise sur une même emprise géographique, le filtrage temporel par sommation permet une amélioration très sensible de la qualité radiométrique en se basant sur le caractère aléatoire de l'effet de chatoiement (Bruniquel, 1996 ; Fellah, 1997). Reste enfin la prise en compte de la géométrie particulière de ces images due à la nature active du système imageur (Polidori, 1997 ; Maître, 2001). Selon la topographie de la zone, si l'orthorectification n'est pas indispensable, comme par exemple sur la plaine d'Alsace, le géoréférencement précis des images est cependant nécessaire.

La combinaison d'images en période d'étiage et en période de crues permet, par détection de changement, d'extraire les champs d'inondation instanta-

Enfin, le croisement géographique des différentes informations extraites des images satellitaires permet d'analyser le paysage de la zone d'étude et son évolution au cours du temps, mais surtout d'évaluer les conséquences d'une crue d'une intensité donnée (fig. 3). Ainsi, la mémoire du risque semble parfois assez peu présente et les événements extrêmes sont rapidement oubliés. On observe la croissance des surfaces urbanisées dans des zones inondées par le passé, et donc potentiellement ré-inondables.

nés, observés lors du passage du satellite (Badji et al., 1994). Comme pour les données optiques, ces informations témoignent d'un instant précis dans le déroulement de la crue, et ne permettent pas une généralisation sans être corrélées aux conditions météorologiques. Nous introduisons ici la notion de cas et de systèmes à base de cas, constitués d'une combinaison d'observation de champs d'inondation et des données pluviométriques et hydrométriques correspondantes.

Lorsque aucun produit d'imagerie n'est disponible pour les événements considérés, la base de données sur les champs historiques est complétée par

les atlas de zones inondables, réalisés par les DDAF, qui décrivent l'emprise maximale du champ d'inondation lors de l'événement.

Alimentation de la base de données du SIAD

Le traitement des données d'imagerie satellitaire représente une part importante de cette étude, qui ne prend vraiment son sens que lors de l'intégration SIG. Cette seconde phase a pour but d'exploiter ces informations dérivées en les combinant à d'autres, provenant d'études antérieures ou de bases de données extérieures. La base exploitable

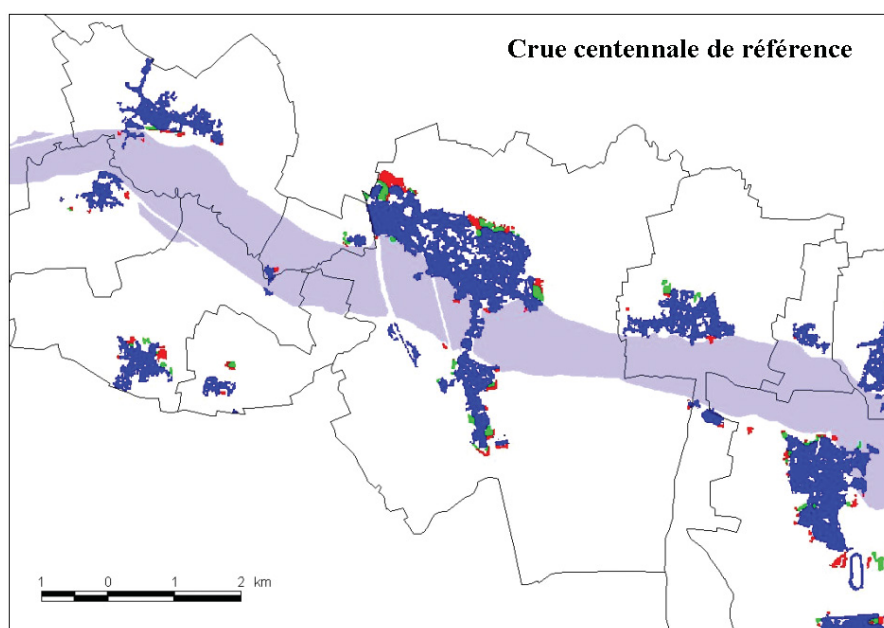


Figure 3. Croisement géographique de la dynamique des espaces urbanisés et d'un champ d'inondation historique

est constituée de deux composantes majeures : les données géographiques et les données environnementales.

■ Les données géographiques

Cette première composante de la base de données intègre de multiples sources. Les produits dérivés de l'imagerie satellitaire constituent le socle du référentiel géographique de l'étude, qu'il s'agisse des produits de classification ou des champs d'inondation observés. Cependant, les contraintes d'exploitation et de présentation des informations requièrent l'utilisation de couches vectorielles, telles que les découpages communaux, les limites de bassin versant... L'objectif est alors d'évaluer les politiques d'aménagement local et leur prise en compte de l'histoire du territoire, en particulier les zones d'épandage des crues.

Pour décrire l'évolution de la vulnérabilité des territoires, le suivi de la dynamique d'urbanisation constitue l'élément majeur. Issue de la fusion du produit de classification d'occupation du sol actualisé avec des produits antérieurs, cette couche d'information forme la base de l'analyse (Pohl et Van Genderen, 1998). A l'échelle de la commune, on peut localiser les zones préférentiellement urbanisées et identifier les vecteurs privilégiés de l'expansion urbaine.

L'extrait cartographique (fig. 3) illustre la dynamique des zones urbaines sur un secteur de la Zorn (bleu, antérieur à 1992 ; vert, urbanisé entre 1992 et 1995 ; rouge, urbanisé entre 1995 et 2000), par rapport à l'extension maximale d'une crue centennale de référence. Cet événement (de 1983, obtenu grâce à l'atlas des zones inondables réalisé par la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt) sert d'ailleurs de référence pour l'élaboration du Plan de Prévention des Risques Inondation (PPR-I) de cette rivière.

Finalement, le croisement géographique des différentes informations extraites des images satellitaires permet d'analyser le paysage de la zone d'étude et son évolution au cours du temps, mais surtout d'évaluer les

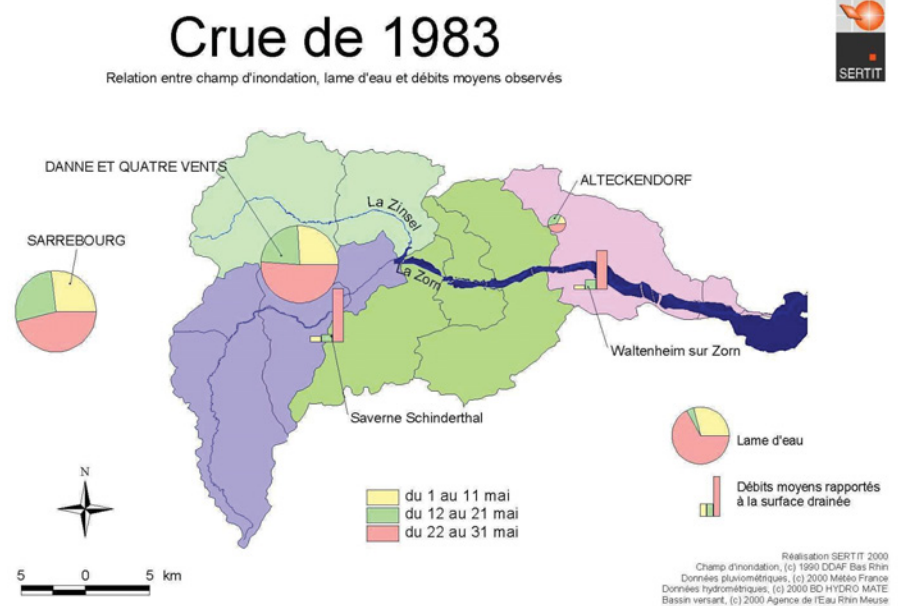


Figure 4. Carte de synthèse d'un événement historique

conséquences d'une crue d'une intensité donnée (fig. 3). Ainsi, la mémoire du risque semble parfois assez peu présente et les événements extrêmes sont rapidement oubliés. On observe la croissance des surfaces urbanisées dans des zones inondées par le passé, et donc potentiellement ré-inondables.

■ Les données environnementales

Cette catégorie regroupe les informations concernant par exemple, la météorologie (pluviométrie, bilan hydrique...) ou l'hydrométrie. Elles sont accessibles auprès des services de Météo France, des Agences de Bassin, des DIREN... Leur intérêt est de pouvoir décrire plus complètement le phénomène observé par les satellites. Dans le cas de la plaine d'Alsace, sur des événements spécifiques, l'analyse de ces séries a mis en évidence une durée standard pour l'évaluation du phénomène pluviométrique et de son impact sur les débits observés. Ainsi, il est apparu raisonnable de ne s'intéresser qu'aux dix jours précédant le pic de crue, considérés comme prépondérants pour la génération des débits (fig. 4).

Cependant, l'antécédent pluviométrique, plus en amont dans le temps, doit également être pris en compte. En effet, selon l'état hydrique du bassin, une même intensité de pluie n'aura pas

les mêmes conséquences sur les débits observés. On introduit ici le suivi du paramètre humidité, qui n'a pas fait l'objet de cette étude mais qui apparaît comme une variable d'autant plus utile qu'elle peut être évaluée par les moyens de télédétection radar (Fellah, 1997 ; Neusch, 2000). L'intérêt est alors d'exploiter directement une variable spatialisée.

De ce fait, une vision systémique du bassin est envisagée en décrivant quelques-uns de ses états extrêmes. Sans entrer dans les méandres et les difficultés de la modélisation hydrologique, une base de données de cas est alimentée, pouvant servir de référentiel de comparaison en supposant que le bassin soit stable dans le temps. C'est dans cette optique qu'est élaboré le document cartographique (fig. 4) qui s'attache plus à donner une tendance des pluviométries et des débits, que des évaluations numériques. Celles-ci deviennent finalement très vite obsoètes, du fait des rapides évolutions des surfaces urbaines et agricoles. C'est pourquoi il est apparu capital de se limiter à une description qualitative des événements afin de ne pas risquer de donner un poids exagéré aux séries de mesures historiques.

Cette hypothèse de stabilité apparaît alors comme réductrice et impose de ■■■

- considérer soigneusement les relations mises en évidence. Elle offre néanmoins l'occasion aux services de gestion de crises de comparer des situations et d'envisager de possibles scénarii d'évolution. De plus, cette évaluation pourrait constituer un intérêt particulier pour les modélisations hydrologiques et hydrauliques, en tant que donnée d'entrée, de validation et de calibration.

Conclusions

L'étude du phénomène 'inondations' est complexe et exigeante, en termes de moyens et de temps. Cependant, ces événements ont d'importants impacts sur les plans socio-économiques, financiers et environnementaux. Leurs conséquences, très souvent catastrophiques, font l'objet depuis plusieurs années de beaucoup d'attention de la part des pouvoirs publics qui cherchent à atteindre deux objectifs. D'une part, réduire les risques en imposant des contraintes fortes dans les zones réputées dangereuses, et d'autre part, donner toujours plus de moyens aux services d'urgence qui sont en contact direct avec la réalité des crises.

Le système est basé sur deux constatations simples : l'occurrence et l'intensité des catastrophes naturelles sont des paramètres qui ne sont pas maîtrisables ; quelles que soient les mesures prises par le législateur, le risque nul ne peut être obtenu. L'objectif du système est alors de fournir aux gestionnaires de crise les moyens d'exercer une certaine maîtrise sur les situations graves. Les moyens spatiaux offerts par les satellites d'observation de la Terre apparaissent comme très efficaces pour

obtenir des informations synthétiques sur de grands territoires.

Ces données nécessitent d'importants traitements pour en dégager l'information : préparations géométriques puis radiométriques, avant extraction des classes thématiques. La connaissance de l'occupation du sol est un facteur primordial dans l'analyse des risques, puisqu'elle en constitue une des composantes : la vulnérabilité. Enfin, la constitution d'une base de données historiques sur les champs d'extension de crues est la dernière étape d'exploitation des images de télédétection.

Les mesures de différents paramètres environnementaux, tels que les précipitations ou les débits moyens journaliers, reliées aux deux catégories d'information dégagées, permettent de prendre conscience de la genèse de ces catastrophes naturelles. Ainsi, cette approche n'a pas pour vocation de constituer un modèle global portant sur la naissance, la propagation et les conséquences des phénomènes naturels violents, mais bien de proposer des moyens d'information pour aider à la prise de décision et à la gestion de crise.

Perspectives

Cette étude a mis en évidence d'importantes perspectives d'évolution de ce type de systèmes. Tout d'abord l'exploitation opérationnelle, en quasi temps réel, demande une automatisation de tout ou partie des processus de rectification géométrique, d'extraction radiométrique... Ensuite, une utilisation sur le terrain exige le développement d'interfaces simples et efficaces sur des systèmes légers, exploitant les techniques

de positionnement par GPS. L'idée est ici de proposer aux équipes d'intervention des moyens de localisation et d'action. L'intégration de données environnementales, météorologiques et hydro-métriques, amène à considérer les possibilités d'évolution vers la modélisation ou la simulation, et ainsi la génération d'informations en avance par rapport aux événements graves, pour alimenter les systèmes d'aide à la décision.

Des études se poursuivent actuellement dans le cadre du Réseau Terre et Espace (programme PACTES, "Prévention et Anticipation des Crues au moyen des Techniques Spatiales", du Ministère de la Recherche et coordonné par le Centre National d'Etudes Spatiales), où sont notamment évaluées les capacités des nouveaux systèmes de télédétection tels qu'ENVISAT et SPOT5, et des futurs systèmes comme Radarsat2 (2003) ou Cosmo-Pléiades-Skymed (2006), dans ce type d'applications. Les signes annonciateurs de débordement (variation de l'humidité des sols grâce au radar, couplages plus élaborés avec les données météorologiques) sont également en cours d'investigation. De nombreuses pistes sont ouvertes, mais l'objectif ultime reste de produire des plans d'information élaborés qui trouvent leur écho chez les utilisateurs et qui puissent s'intégrer efficacement dans le processus de décision en cas de crise. Ces développements seront concrétisés dans le cadre du projet "Plain-Flood Monitoring" soutenu par l'Agence Spatiale Européenne, dont l'objectif est la constitution d'un centre opérationnel de cartographie rapide des inondations dans l'Est de la France au moyen des données d'Observation de la Terre. ●

Le système est basé sur deux constatations simples : l'occurrence et l'intensité des catastrophes naturelles sont des paramètres qui ne sont pas maîtrisables ; quelles que soient les mesures prises par le législateur, le risque nul ne peut être obtenu. L'objectif du système est alors de fournir aux gestionnaires de crise les moyens d'exercer une certaine maîtrise sur les situations graves. Les moyens spatiaux offerts par les satellites d'observation de la Terre apparaissent comme très efficaces pour obtenir des informations synthétiques sur de grands territoires.

Remerciements

Je tiens ici à adresser mes plus sincères remerciements à Paul de Fraipont, directeur du SERTIT, et à Stephen Clandillon, chercheur SERTIT, pour avoir permis et contribué à la réalisation de cette étude. Je remercie enfin Martine Couturier, de Matra Systèmes&Informations, coordinatrice du projet européen GENESIS 2000, qui a donné le cadre de ce travail. Ce Projet de Fin d'Etudes a été soutenu à l'ENSAIS le 17 octobre 2000. ●

Contact

Service Régional de Traitement d'Image et de Télédétection (SERTIT)

Pôle API - Bd Sébastien Brant
F-67400 Illkirch Graffenstaden
Std: +33 (0)3 90 24 46 47
Fax: +33 (0)3 90 24 46 46
<http://sertit.u-strasbg.fr>

Références

Badji M., Dautrebande S., Mokadem

A.I. et Dewez A., 1994, ERS-1 SAR imagery applied to rural basins hydrological studies. I: Flood inundation mapping and monitoring, Proceedings of First ERS-1 Pilots Projects, pp. 117-124.

Bannari A., Morin D., Bonn F. et Huete

A.R., 1995, A review of vegetation indices, Remote Sensing Reviews, Vol. 13, pp. 95-120.

Begni G., 1988, Document de synthèse sur l'étalonnage absolu des données SPOT, Rapport CNES.

Bruniquel J., 1996, Contribution des données multi-temporelles à l'amélioration radiométrique et à l'utilisation d'images radar à synthèse d'ouverture, Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier de Toulouse.

Clandillon S., Meyer C., Bestault C., Yesou H. et De Fraipont P., 1995a, Variabilité du MIR et humidité, Procédures d'optimisation des données SPOT4/MIR, Rapport final SERTIT.

Clandillon S., De Fraipont P. et Yesou H., 1995b, Assessment of the future SPOT4 MIR for wetland monitoring and

soil moisture analysis : simulation over the Ried Centre Alsace (France), Proceedings of SPIE, Vol. 2585, pp. 102-111.

Clandillon S., Meyer C., Bestault C., Yesou H. et De Fraipont P., 1999, Validation des résultats obtenus dans la plaine d'Alsace, au cours des projets pilotes SPOT4/MIR, Rapport final SERTIT.

Fellah K., 1997, Mesures des paramètres des sols à partir de données des satellites radar pour les applications hydrologiques, Thèse de doctorat de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, mention Doctorat Européen.

Maître H., 2001, Traitement des images de Radar à Synthèse d'Ouverture, Hermès, Paris.

Neusch T., 2000, Multi-Frequency and Multi-Polarization Synthetic Aperture Radar Data for Modelling Hydrological Parameters, Aachen : Shaker (Geodäsie ; Bd. 5), Zugl.: Karlsruhe Univ., Diss.

Pohl C. et Van Genderen J.L., 1998, Review article - Multisensor image fusion in remote sensing : concepts, methods and applications, International Journal of Remote Sensing, Vol. 19, No. 5, pp. 823-854.

Polidori L., 1997, Cartographie radar, Gordon and Breach Science Publisher.

ABSTRACT

KEY-WORDS : satellite imagery, floods, information and aid to decision making systems

Due to increased awareness, public authorities are implementing strategies to combat flood events. As a consequence, large scale territorial information systems, able to contribute to the prevention and management of crises, are being developed. Because flood events involve many different actors and types of information, concerned services need to reorient their crisis management policies, by using new technologies of Information and Communication.

Satellite remote sensing appears to be an adequate data source, in order to feed these flood alert geographical databases. The system aims to synthesise and use synergies between geocoded information sources. Here, these are derived from Earth Observation data, meteorological observation data and from field work using GPS and cameras... The ultimate goal is then to improve crisis management, by providing easy-to-use information, accounting for environmental, human and material factors, to flood crisis managers and their aid to decision making systems.

Utilisation combinée des techniques GPS et Radar



■ Christian HAGIN et Patrick LATHION

Au début des années 90, les récepteurs GPS étaient des instruments de mesure révolutionnaires dans nos professions, destinés presque exclusivement à des applications géodésiques en post-traitement. Au fil de l'évolution technologique, de nouveaux constructeurs sont apparus, qui ont diversifié et accru les fonctions et les possibilités des récepteurs. Les applications GPS en temps-réel ont rapidement pris le pas sur le post-traitement, et de plus en plus de récepteurs bon marché ouvrent de nouvelles perspectives dans le vaste domaine de la navigation et du guidage de personnes ou de mobiles. Aujourd'hui, le GPS est devenu une technique courante du géomaticien, qui est aussi utilisé de plus en plus en combinaison avec d'autres capteurs. Ce travail d'intégration permet de géoréférencer à l'aide du GPS les données fournies par les capteurs, et par conséquent de réaliser des cartographies thématiques. Cette méthodologie est utilisée par exemple pour des applications bathymétriques, par couplage d'un système GPS et d'un écho-sondeur, ou pour des assainissements de décharge en combinant un capteur de gaz au GPS. Dans cet article, nous nous proposons de présenter plus en détail l'intégration d'un radar au GPS destinée à la surveillance aérienne du manteau neigeux.*

Contexte et objectifs

Depuis quelques années, nous couplons déjà les systèmes GPS à différents instruments tels que capteurs de gaz pour la cartographie des émanations de méthane sur les décharges, ou encore les écho-sondeurs pour la représentation des hauteurs de sédiments et d'eau dans les barrages, lacs ou rivières.

Nous nous intéressons aussi à la combinaison d'un radar (Ground Penetrating Radar, GPR) et d'un système GPS-RTK, embarqués dans un hélicoptère, pour la surveillance du manteau neigeux.

Cette technique permet d'obtenir simultanément les altitudes des différentes interfaces rencontrées par les ondes radar (neige/glace, terrain) avec une

précision décimétrique, sans avoir besoin d'un modèle de terrain a priori. Il est aussi possible de déterminer les caractéristiques physiques de la neige telles que densité et teneur en eau.

Les objectifs prioritairement étudiés dans cette phase de développement sont les suivants :

- **La surveillance aérienne du manteau neigeux** Mesures et suivi de l'évolution de la hauteur de neige dans les zones d'avalanches ou difficiles d'accès, afin d'anticiper au mieux les dangers potentiels ou l'évacuation de zones habitées.
- **Détermination de la densité et de la teneur en eau de la neige** Détermination de la teneur en eau du

manteau neigeux et estimation du volume d'eau disponible sur un bassin versant.

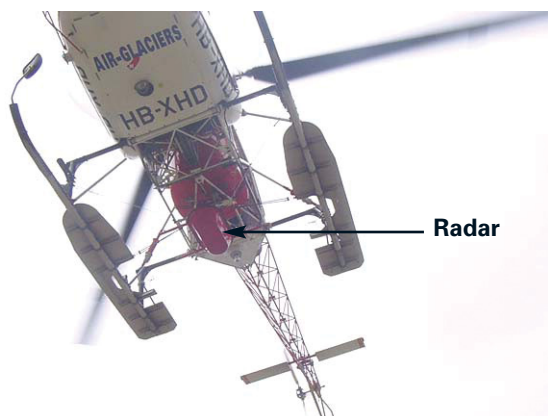
- **Recherche de personnes sous les avalanches** L'image radar obtenue en temps réel permet de distinguer, en fonction de la densité des matériaux, des objets ou personnes intercalées entre le sol et la neige.

La technique radar

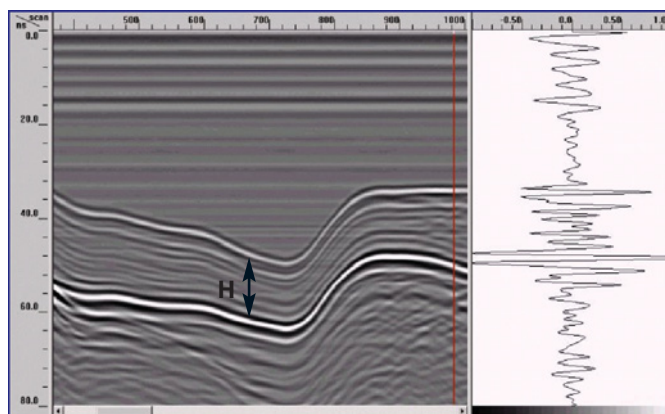
Le principe est l'interprétation des échos radar pour en extraire les informations relatives à la hauteur et à la structure de la neige, afin de pouvoir cartographier ces mesures à l'aide du GPS couplé au radar.

Les différentes hauteurs (terrain, neige, ■■■

* Article disponible aussi en allemand et en anglais



Hélicoptère avec Radar et GPS



Scan radar en temps réel (interface neige-sol)

■ ■ ■ hélicoptère) sont déduites du temps de cheminement aller-retour des ondes électromagnétiques dans les différents milieux traversés, sachant que les vitesses de propagation de ces ondes diffèrent suivant les milieux. La vitesse de propagation de l'onde est liée directement à la constante diélectrique ϵ_r du milieu et peut être interprétée selon la formule suivante : $\epsilon_r = (c/v)^2$

avec : c =célérité et v =vitesse de l'onde dans le milieu.

Selon la précision désirée, un nouveau calibrage est nécessaire à chaque fois que les caractéristiques physiques de la neige changent de manière significative.

Nous sommes actuellement en cours de développement d'une solution permettant d'obtenir simultanément la densité et la hauteur de neige par interprétation des temps de propagation et de mesures d'amplitude du signal radar.

Détermination des hauteurs de neige par technique radar et GPS combinée, embarquée dans un hélicoptère

Ce paragraphe explique la méthodologie développée pour cette application, ainsi que les différents tests réalisés pour estimer la précision des hauteurs livrées par le radar.

■ Description des mesures

La zone de mesures se situe au dessus d'Evolène (Valais, Suisse), dans le secteur de la zone de décrochement de l'avalanche de février 1998 (entre le col de Torrent et la Pointe du Prélet, altitude

2'700 mètres). Plusieurs lignes de vol de 100 mètres, espacées de 20 à 40 mètres, ont été survolées.

Sur ces mêmes lignes, des sondages manuels ont été réalisés (mesures de profondeur de neige) tous les 5 à 10 mètres, et géoréférencés par la méthode GPS RTK (~2-5 cm). D'autre part, des échantillons ont été récoltés par carottage.

■ Navigation et positionnement par GPS

Le système GPS-RTK embarqué nous permet de naviguer de manière précise sur les lignes de vol prédéfinies (zones de danger potentielles), et ainsi d'indiquer avec précision au pilote les points et lignes qu'il faut survoler. Cette méthode permettra aussi lors de mesures répétitives d'effectuer des mesures exactement aux mêmes endroits, ce qui s'avère important pour juger de l'évolution du manteau neigeux. Pour faciliter la navigation et le positionnement des mesures radar, les antennes GPS et radar sont situées

sur un même axe. Les mesures radar sont donc géoréférencées directement sans post-traitement par le positionnement GPS.



Lignes de vol avec les points mesurés précédemment au sol et indication en temps réel de la position de l'hélicoptère (radar monté à la verticale de l'antenne GPS)



Mesures de contrôle par GPS-RTK et sonde, ainsi que par carottage.

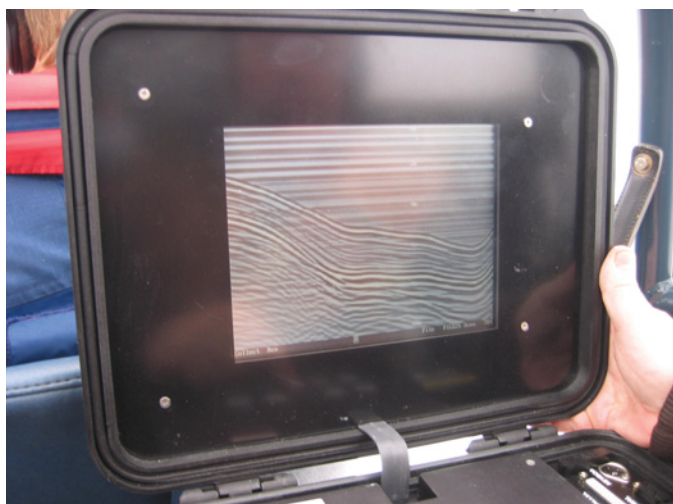


Image radar en temps réel et la navigation par GPS-RTK

Mesures Radar

L'image digitale du radar, le positionnement et la navigation GPS-RTK sont réalisés simultanément et en temps réel dans l'hélicoptère. La précision "on-line" sur la hauteur de neige dépend évidemment des paramètres introduits au cours des mesures (densité de la neige par exemple). En règle générale, nous donnons une valeur globale durant le vol, l'important étant de vérifier la qualité de l'image radar durant les mesures. En effet, il est plus aisé pour l'interprétation d'utiliser des images qui distinguent bien les différentes couches traversées par les ondes radar.

Traitement et calcul

Le calcul des hauteurs de neige sont déduites des images radar et dépendent de la vitesse de propagation de l'onde dans le milieu. Cette vitesse varie suivant la densité de la neige. Pour obtenir cette densité, il existe en fait plusieurs méthodes :

- mesure de masse volumique par carottage et prise d'échantillons ;
- mesure de hauteurs de neige avec sonde et mise en correspondance avec une image radar prise à l'endroit du sondage ;
- interprétation des mesures d'amplitude du signal radar (par comparaison à l'amplitude fournie par le radar pour la glace). Cette solution est en cours de développement.

Il est actuellement encore difficile d'obtenir des résultats définitifs de hauteurs

de neige en temps réel depuis un hélicoptère. En revanche, il est relativement aisé d'obtenir ces hauteurs en temps réel lorsque le radar se trouve en contact direct avec la neige (mesures sur pistes avec ou sans dameuses, par exemple).

Résultats

L'extrait du fichier-résultats montre le principe du calcul pour arriver à la détermination de la hauteur/altitude de la neige et/ou du terrain. Dans cet exemple, deux zones géographique-ment distinctes ont été survolées, sur

lesquelles deux valeurs de calibration ont été utilisées (2.12m et 1.7m).

D'une manière générale, l'on remarque que la profondeur mesurée avec la sonde est inférieure aux mesures par radar. Cela s'explique par le fait que les couches inférieures de neige sont relativement dures et qu'il est difficile d'atteindre avec la sonde le terrain naturel.

La densité de la neige varie drastiquement suivant l'exposition de la pente. Par exemple, sur le site de mesures, la densité de la neige variait de 332 kg/m³ (pente nord) à plus de 600 kg/m³ (pente

	A	B	C	D	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	T	U	V
	Point	Easting	Northing	Level	Time Snow (ns)	Time ground (ns)	Time S - G (ns)	Calibration (m)	Depth radar (m)	Depth manually (m)	Height radar (m)	Height manually (m)	Height radar above snow (m)	Height ground interface (m)	Velocity (m/ns)	Dielectric constant	Density
1																	
3	fichier radar 23 - Arriviers gauche 1 - stop and go																
4	1001	607974.74	108322.42	2777.82	8.80	17.85	9.05	2.12	2.12	2.12	2775.82	2770.30	2768.18	5.52	0.2343	1.6401	0.332
5	1002	607970.47	108314.26	2778.43	14.45	20.55	6.10		1.43	1.40	2777.43	2771.06	2769.63	6.37			
6	1003	607964.72	108307.30	2780.99	14.45	25.10	10.65		2.49	2.30	2778.99	2772.62	2770.12	6.37			
7	1004	607960.02	108301.08	2781.66	4.11	10.05	5.94		1.58	1.60	2779.66	2774.94	2773.26	4.82			
8	1005	607959.29	108299.68	2780.43	17.15	23.05	5.90		1.38	1.40	2780.43	2781.85	2780.27	6.77			
9	1006	607943.19	108276.21	2786.64	14.10	20.05	5.95		1.39	1.30	2796.64	2790.33	2788.93	6.32			
10																	
11	fichier radar 24 - Arriviers droite 1 - stop and go																
12	2001	607945.24	108347.31	2771.02	4.67	12.15	7.48		1.75	1.85	2785.02	2784.12	2782.37	4.90			
13	2002	607939.70	108341.33	2775.25	9.95	16.50	6.55		1.53	1.55	2773.25	2767.59	2766.02	5.69			
14	2003	607937.00	108336.31	2777.45	12.90	21.95	9.05		2.12	2.00	2775.45	2769.31	2767.19	6.14			
15	2004	607933.03	108329.85	2780.57	15.25	21.65	6.40		1.50	1.60	2778.57	2772.08	2770.58	6.49			
16	2005	607927.08	108322.38	2784.96	11.55	18.20	6.65		1.56	1.40	2782.96	2777.02	2775.47	5.93			
17	2006	607919.11	108310.82	2792.64	14.15	20.55	6.40		1.50	1.50	2790.64	2784.32	2782.82	6.32			
18	2007	607913.42	108302.98	2796.45	13.30	19.00	6.50		1.52	1.40	2794.45	2788.25	2786.74	6.20			
19	2008	607905.90	108292.54	2801.40	8.00	14.50	5.50		1.29	1.25	2798.40	2793.95	2792.56	5.95			
20																	
21	fichier radar 25 - Arriviers droite 2 - stop and go																
22	4001	607942.66	108346.09	2774.00	8.35	15.25	6.90		1.62	1.60	2772.00	2766.54	2764.93	5.45			
23	4002	607938.00	108339.56	2777.15	12.35	20.80	8.45		1.98	1.80	2775.15	2769.09	2767.12	6.05			
24	4003	607935.59	108333.40	2779.40	16.80	25.80	9.00		2.11	2.00	2777.40	2770.68	2768.57	6.72			
25	4004	607932.42	108322.97	2787.42	19.70	26.80	7.10		1.66	1.65	2785.42	2778.25	2776.60	7.16			
26																	
27	fichier radar 26 - Mérens - stop and go																
28	6001	607741.28	107985.83	2973.09	9.50	11.25	1.75		0.33	0.30	2971.09	2965.47	2965.13	5.63			
29	6002	607733.19	107978.57	2971.15	15.40	18.75	3.35		0.64	0.55	2969.15	2962.64	2962.00	6.51			
30	6003	607723.75	107990.13	2970.98	18.20	25.95	7.75		1.49	1.40	2968.98	2962.05	2960.57	6.93			
31	6004	607711.70	108006.73	2970.92	21.00	24.20	3.20		0.61	0.50	2968.92	2961.57	2960.96	7.35			
32	6005	607700.53	108015.94	2971.53	24.20	27.15	2.95		0.56	0.55	2968.53	2961.70	2961.14	7.83			
33	6006	607691.12	108026.28	2971.33	14.25	23.15	8.90	1.70	1.70	1.70	2969.33	2963.00	2961.30	8.34	0.1910	2.4667	0.675
34	6007	607678.19	108044.00	2976.57	10.60	15.40	4.80		0.92	0.90	2974.57	2968.78	2967.86	5.79			
35																	
36	fichier radar 29 - Mérens - contour																
37	7001	607738.03	108006.05	2975.35	21.95	24.75	2.80		0.53	0.55	2973.35	2965.86	2965.32	7.49			
38	7002	607709.87	107999.53	2970.28	27.15	29.80	2.65		0.51	0.45	2968.28	2960.01	2959.50	8.27			
39	7003	607702.67	108009.57	2970.76	22.90	26.90	4.00		0.76	0.50	2968.76	2961.15	2960.38	7.64			
40	7004	607689.85	108026.05	2973.36	18.15	27.55	9.40		1.00	1.60	2971.36	2964.45	2962.66	6.92			
41	7005	607689.19	108030.74	2974.53	19.35	24.20	4.85		0.93	0.90	2972.53	2965.43	2964.50	7.10			
42	7006	607681.06	108036.63	2977.54	19.75	24.20	4.45		0.85	0.75	2975.54	2968.37	2967.52	7.16			

Colonnes A, B, C, D : numéro du points, coordonnées et altitude de vol (antenne GPS)
H, I, J : temps de parcours de l'onde aller et retour jusqu'à : la neige, au sol et dans la neige
K : valeur de neige mesurée à ce point avec une sonde (valeur vraie)
L, M : hauteur provenant du radar et des mesures à la sonde pour chaque point considéré
N, O, P, Q : altitudes du radar, de la neige, du terrain, et hauteur du radar au-dessus du sol
T, U : vitesse de propagation de l'onde dans la neige et de la constante diélectrique
V : densité de la neige calculée

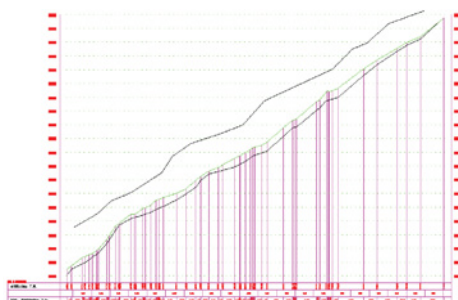
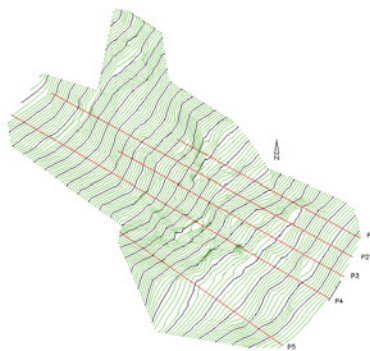
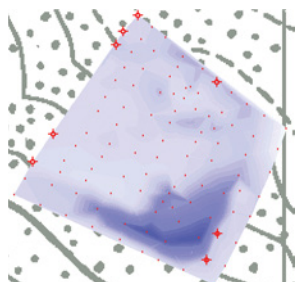
zone	# de mesures	Moyenne	Écart-type	Densité
1 (ubac)	17	5.9 cm	8.2 cm	0.332
2 (adret)	13	8.0 cm	8.1 cm	0.675

Le tableau ci-dessus montre une statistique sur la précision des mesures effectuées.

■ ■ ■ sud). En négligeant cette variation et en utilisant une valeur constante de 300 kg/m^3 sur tout le site de mesures, nous aurions constaté des erreurs sur les hauteurs de neige de l'ordre de 20 % pour une densité de 600 kg/m^3 . Afin d'obtenir des résultats précis, il est donc important d'effectuer un calibrage lors de modifications significatives de la physiologie du manteau neigeux.

■ Représentation des mesures

Il est ensuite aisé de représenter les hauteurs et altitudes obtenues à l'aide de modèles numériques de terrain ou de neige, de profils incluant la hauteur du terrain et de la neige, ou encore sous forme de cartes thématiques.



Domaines d'applications

Concernant les deux autres applications citées ci-dessus, nous pouvons actuellement donner les informations suivantes :

- pour les estimations de teneur en eau, des expériences et mesures pratiques réalisées en Suisse et dans les pays nordiques nous montrent que l'on peut prévoir avec une probabilité de 90-95%, la quantité d'eau contenue dans la neige sur le bassin versant d'un lac ou d'un barrage.
- pour la recherche de personne sous les avalanches, la complexité des images radar rend leur interprétation "on-line" très difficile. De nombreux tests et développements doivent encore être réalisés afin de pouvoir lire ces scans de manière fiable en temps réel pour une telle application.

La méthodologie expliquée dans cet article pour des mesures au travers de la neige peut être extrapolée à d'autres milieux (avec ou sans hélicoptère). La fréquence utilisée par le radar est le paramètre qui détermine la profondeur d'investigation dans ce milieu, ainsi que la résolution.

Des hautes fréquences (1 GHz par exemple) donnent des images radar

très détaillées, mais ne pénètrent que quelques mètres dans le sol. Par contre, les basses fréquences (20 MHz par exemple) permettent de sonder très profondément, avec une résolution très grossière. Finalement, un système embarqué (airborne system en anglais) n'est pas toujours approprié. En effet, les échos radar peuvent soit être trop faible, soit se trouver en interférence avec certains systèmes électroniques de l'avion ou de l'hélicoptère. Il est dans ces cas judicieux d'utiliser des antennes spécialement conçues pour ce type d'applications airborne. Les applications possibles pour cette technique sont par conséquent multiples. On citera quelques exemples non exhaustifs :

la glaciologie : évolution des glaciers

la géologie/hydrogéologie : recherche de nappes, structure de la roche

l'archéologie : recherche de site, caverne

le génie forestier : MNT en forêt, hauteur de la couverture végétale

le génie civil : recherches de canalisations, de fissures dans des ouvrages d'art. ●

Contacts

Christian Hagin, ing. dipl EPF/SIA

Patrick Lathion, ing dipl. EPFL

GEOSAT SA

26, Ch. de la Métairie

CH-3960 Sierre

Tél : 0041 27 455 25 00

info@geosat.ch

ABSTRACT

In the early nineties, GPS, were revolutionary instruments in our profession. They were used almost exclusively for geodetic applications in post-processing. As technology advanced, new manufacturers appeared, diversifying and developing the performance of GPS receivers. At present, real-time GPS replace the post-processing applications and the low-cost receivers became available, offering new possibilities in navigation and tracking system.

Today, GPS has become an every day technique used by surveyors in combination with other types of sensors. This integration with assistance of GPS enables to reference the information captured by receivers and consequently the production of thematic maps. This method is used, for example, in bathymetry applications, by combining a GPS system with echo sounder, also in rubbish controls by using gas meters with GPS. In this article, we present in greater detail, the integration of radar and GPS for aerial surveillance of snow cover.

GéoStation

la solution géomatique de gestion des domaines skiables développée par Orodia sur le SIG GeoConcept

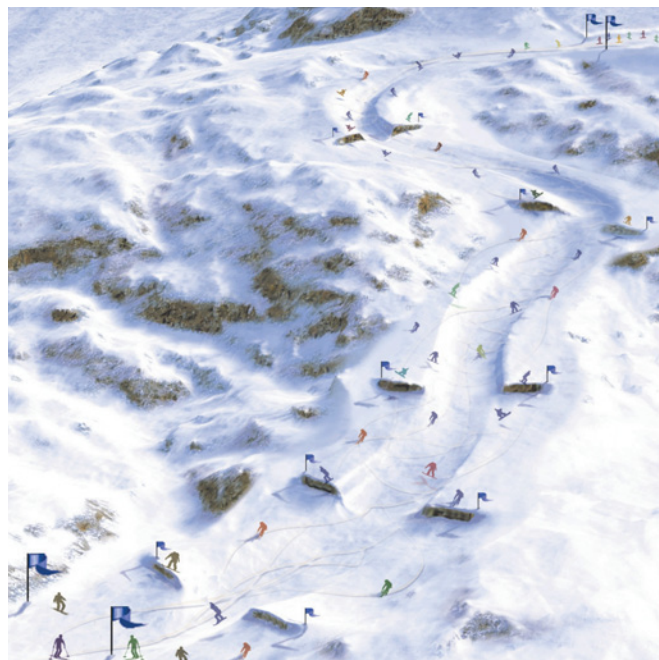
■ Fabrice COLLINSE et Jean-Christophe LOUBIER - ORODIA

GéoStation est une solution géomatique dédiée à la gestion des domaines skiables. Développée par ORODIA, une société française basée à Grenoble, GéoStation fondée sur le socle SIG GeoConcept, intègre des données de terrain réunies par photogrammétrie, relevés GPS, récolement, numérisation et prise d'information sur le terrain (photos, croquis, films). Les applications de GéoStation sont nombreuses et apportent une aide déterminante dans la gestion des domaines skiables : prévention des risques, visualisation de nouvelles pistes de ski et infrastructures, maintenance des remontées mécaniques, des réseaux, gestion des travaux, implantation des canons à neige, information aux touristes...) GéoStation a été implantée avec succès dans plusieurs stations de ski du monde entier et est appelée à un développement croissant.

La genèse de GéoStation

Les domaines skiables sont des consommateurs importants d'informations géographiques. Chaque année, des travaux de reprise des pistes ou d'implantation de systèmes d'enneigement nécessitent une cartographie à grande échelle (du 5 000^e au 500^e). Dans un autre registre, les services principaux des domaines skiables possèdent un patrimoine de données important dont certaines peuvent être partagées pour le bien de tous les acteurs (services des pistes, remontées mécaniques, office du tourisme, communes, syndicats intercommunaux). La plupart de ces informations peuvent être spatialisées. Rapidement, ORODIA a songé à concevoir un instrument partagé, capable d'archiver toutes ces informations et de permettre la gestion du domaine à partir de la carte.

Le système GéoStation a vu le jour à la suite de ces réflexions



©copyright Kaliblu 2002

Image de synthèse/ Simulation d'intégration d'un projet

et en relation avec des bureaux d'études techniques spécialisés dans l'aménagement de domaine skiable. ORODIA a mis à profit sa connaissance des métiers des domaines skiables pour développer un modèle de données spatiales et attributaires adapté aux différentes problématiques.

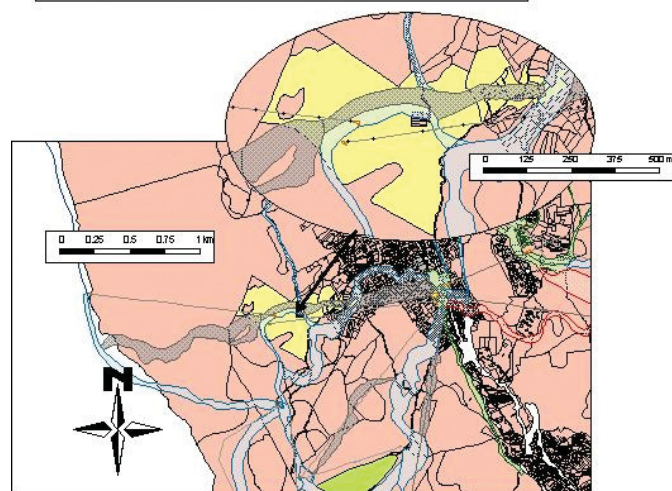
Ce système SIG, développé sous une plate-forme GeoConcept, intègre les informations géographiques recueillies par photogrammétrie et/ou relevé terrain. ORODIA réalise également des orthophotos quand le domaine skiable en fait la demande. Les concepteurs ont choisis une solution SIG adaptée pour ses performances en matière de convivialité, de potentiel de développement et d'édition. Les gestionnaires de domaines skiables ne sont pas intéressés par un outil complexe qui réclame de l'investissement en temps d'apprentissage. Avec ses capacités évoluées et sa puissance, GeoConcept répond parfaitement au cahier des charges défini par ORODIA tout en ouvrant des perspectives séduisantes. ■■■

Recueil des données

Les outils utilisés pour la constitution de la base cartographique balayent largement le champ des besoins des domaines en information géographique. La chaîne de constitution de la base géographique la plus courante est la suivante. La première étape de la mise en place de GéoStation consiste en une première détermination avec l'exploitant des zones qu'il souhaiterait aménager, développer ou gérer. La seconde étape est la recherche des acteurs potentiels susceptibles d'être intéressés par l'utilisation des données. Dans certaines stations, les utilisateurs sont nombreux et leurs systèmes d'exploitation souvent différents : Centre de Machinisme Agricole et Génie Rural des Eaux et Forêt (CEMAGREF), bureau d'étude d'aménagement, bureau d'étude de risques naturels, communes, offices du tourisme, offices des sports, etc.

Les concepteurs ont pu fournir facilement toutes les données recueillies, en utilisant les divers exports disponibles dans la solution SIG. Les données sont restituées en 3 dimensions d'un point de vue géométrique. Cela autorise la création d'illustrations dynamiques 3D pour les offices de tourisme. La technique d'acquisition principale des informations spatiales se fait en photogrammétrie, réalisée avec un DSR 14 analytique ou une station numérique traitant des images aériennes calibrées. Bien entendu, la précision des données obtenues dépendra de l'échelle et de la qualité des photos.

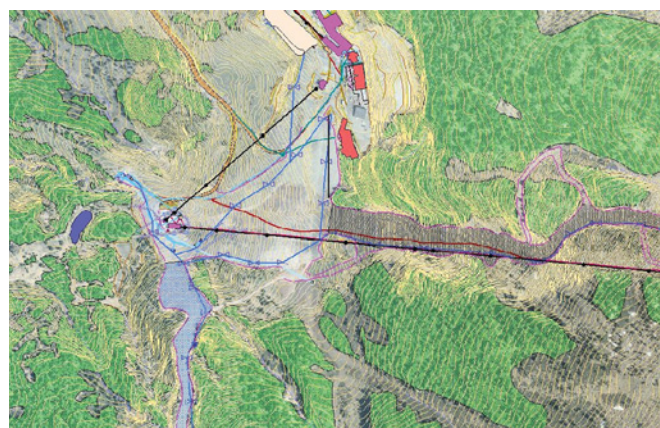
Parcelles intersectantes avec tronçon B piste Noire LA FACE



parcelle piste noire la place tronçon b

COODEP	COCCOM	SECTION	PARCELLE	FEUILLE
73	015	L	97	US
73	015	L	185	US
73	015	L	240	US
73	015	L	191	US
73	015	L	196	US
73	015	L	190	US
73	015	L	194	US
73	015	L	177	US
73	015	L	174	US
73	015	L	183	US
73	015	L	188	US
73	015	L	189	US
73	015	L	186	US
73	015	L	184	US

Exemple de mise en page après analyse SIG



Exemple de superposition de couches/Les réseaux du secteur aval du domaine de Canillo sur l'orthophoto

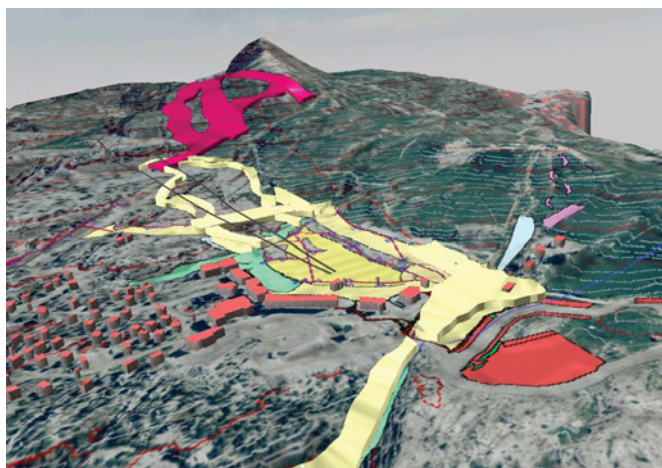
Pour cela, le développeur mandate des sociétés de prises de vues connaissant parfaitement la montagne avec les risques qu'elle comporte ou s'appuie sur sa propre expérience. Fabrice Collinse, formé à la photogrammétrie par l'ENSG (Ecole Nationale des Sciences Géographiques, émanation de l'IGN), préconise souvent un vol au 1/15 000^e me pour une cartographie générale d'étude, couplé avec un vol au 1/4000^e me pour des secteurs nécessitant une densité ou une précision plus importante, notamment sur les fronts de neige et aux départs et arrivées de remontées ainsi que sur les communes pour le placement de leurs réseaux.

Les plans de vol sont souvent très délicats à déterminer car les pentes peuvent nécessiter un recouvrement longitudinal et latéral plus important.

Traitement des données

Les photos aériennes réalisées au cours des vols permettront également la création d'une orthophotographie digitale, par scannage, redressement et mosaïquage du jeu de photos. L'image créée devient un très bon complément d'information pour le SIG mis en place, permettant une meilleure vision du site aux utilisateurs et aux décideurs.

Les points d'appui servant aux calages des photos aériennes dans le système de référence nationale sont le plus souvent réalisés par GPS différentiel type LEICA Système 500 qui offre d'intéressantes performances face aux reliefs dont l'accessibilité et la visibilité sont souvent incertaines en altitude. Tous les éléments visibles sur les domaines, tels que bâtiments, remontées mécaniques, pylônes, terrassement de pistes, végétation et altimétrie sont saisis en 3 dimensions sous Microstation et structurés de façon à être intégrés aisément dans GéoStation. L'altimétrie saisie sous forme de courbes de niveaux ou semis de points et lignes de rupture permet par la suite de réaliser un maillage altimétrique de facettes à pas régulier permettant des applications de type 3D, par exemple : profils en long et en travers, cubatures, flux de ruissellement, etc. Les éléments sont structurés selon une charte définie en accord avec les utilisateurs du milieu montagne et enrichis par des informations attributaires pour retracer l'historique des infrastructures et en gérer la maintenance.



Reconstitution 3D automatique sous VirtualGéo de projets de pistes

Les points d'appui photogrammétriques servent en plus de canevas de référence pour tous les secteurs nécessitant des relevés à grandes échelles.

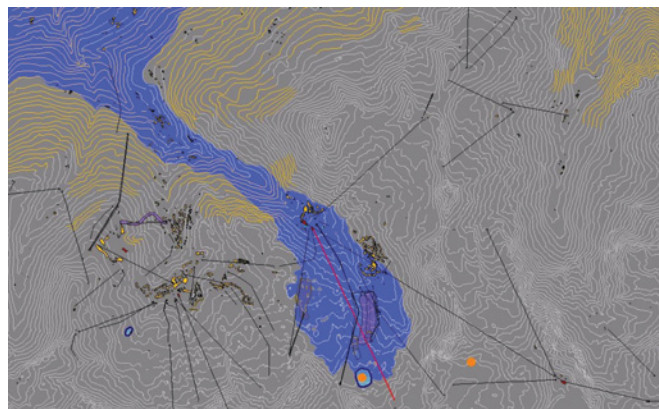
Les procédures standard de DAO et de numérisation sous Autocad ou Microstation permettent la finalisation du fond cartographique de base et son intégration dans le modèle de données du SIG.

D'autres types d'informations plus complexes peuvent être rajoutés sur demande : risques naturels, orientation et exposition, bassins versants,... Le fond cartographique ainsi constitué permet la gestion d'un domaine dans un intervalle d'échelle allant du 25 000^e au 500^e. GéoStation se situe donc dans le cadre d'un outil SIG de terrain, adapté aux questions opérationnelles d'un gestionnaire de domaine skiable.

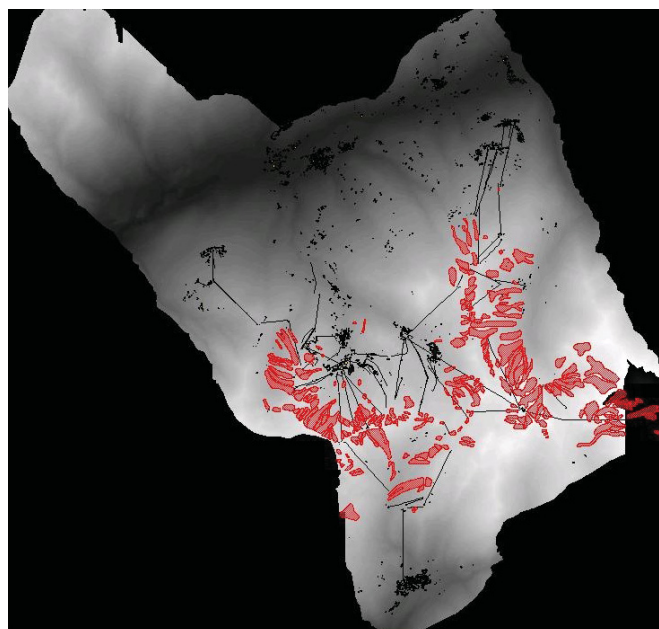
Prévention et gestion des risques

L'intérêt du SIG se fait sentir dès son installation, car les enjeux sont énormes, Toutes les coulées d'avalanches sont archivées spatialement pour prévoir les zones à risques et les secteurs où seront positionnés les déclencheurs d'avalanche de type Gazex (déclencheur à gaz) et Catex (déclencheur par explosif sur transport par câble).

La sécurité des pistes est également partie prenante en spatialisant tous les lieux d'accidents, ce qui permet de détermi-



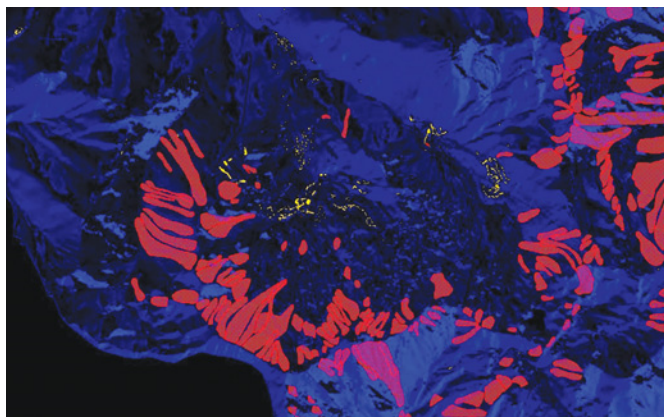
Analyse raster/écoulement potentiel de l'eau à partir d'une réserve colinaire (il s'agit de réserves d'eau conçues spécialement pour accumuler de l'eau en altitude afin de l'utiliser dans le système de neige de culture. Elle circule donc par gravité)



MNT raster et superposition du plan de déclenchement des avalanches

ner les secteurs à améliorer lors des prochains travaux. Rapidement, GéoStation fournit aux conducteurs de travaux la position des réseaux enterrés avec le cas échéant une zone tampon déterminée grâce aux outils topologiques standards du SIG. ■■■

Les points d'appui photogrammétriques servent en plus de canevas de référence pour tous les secteurs nécessitant des relevés à grandes échelles. Les procédures standard de DAO et de numérisation sous Autocad ou Microstation permettent la finalisation du fond cartographique de base et son intégration dans le modèle de données du SIG. D'autres types d'informations plus complexes peuvent être rajoutés sur demande : risques naturels, orientation et exposition, bassins versants,... Le fond cartographique ainsi constitué permet la gestion d'un domaine dans un intervalle d'échelle allant du 25 000^e au 500^e. GéoStation se situe donc dans le cadre d'un outil SIG de terrain, adapté aux questions opérationnelles d'un gestionnaire de domaine skiable.



Analyse raster/ Calcul de l'orientation des versants en fonction des couloirs d'avalanche

■ ■ ■ En termes d'altimétrie, les procédés de traitement de MNT vecteur sont limités. Le SIG permet de transformer aisément le maillage en facette et en MNT Raster afin de combiner des analyses vecteur/raster.

La gestion des enneigements fait aussi partie des applications de GéoStation. À La Plagne (Haute-Savoie), la collaboration étroite entre Jean-Christophe Loubier, ingénieur géomaticien et Anne Semay, développant GéoStation à la Société d'Aménagement de La Plagne (SAP), a permis grâce au module Image de déterminer des cartes de pente, d'orientation pour assister les bureaux d'études à la détermination des zones privilégiées et à l'installation des réseaux de neige artificielle.

Des relevés de terrain peuvent enrichir le plan photogramétrique de base à l'aide d'un GPS différentiel ou de levés au théodolite. Par exemple, les bords de pistes des domaines sont relevés de cette façon en hiver et à skis. Les surfaces obtenues grâce à ont rapidement séduit les exploitants qui peuvent désormais déterminer eux-mêmes et avec justesse le coût de leur reverdissement ou de leur damage. Ils peuvent désormais rapidement croiser les zones d'étude avec le cadastre numérisé et identifier bien plus facilement qu'auparavant des zones ou des parcelles susceptibles de poser des difficultés à la réalisation des projets.

Les réseaux d'eau, de communication et électriques sont, bien entendus, recollés selon les moyens à disposition, GPS ou théodolite. Ici aussi, les intérêts immédiats sont manifestes. Chaque année, des réseaux enterrés, dont la position a été oubliée au fil du temps, ressurgissent sous un coup de pelleuse. La rupture de certaines conduites peut provoquer de nombreux dégâts. GéoStation archive leur position, leur dimension et indique la puissance de certaines lignes. Cela permet d'éviter les risques d'arrachement lors des travaux estivaux.

Suivant le projet du client, le développeur confectionne la base attributaire de façon à permettre la gestion de tout ou partie du domaine directement à partir de la carte. Le SIG devient alors indifféremment un outil de simulation de projet grâce à son module 3D temps réel, un instrument de GMAO (à définir), un dispositif de communication aux touristes (état des pistes, sécurité) ou encore un outil d'optimisation des plans de damage grâce à l'introduction de GPS dans les dameuses ou sur les travailleurs isolés en vue de les sécuriser.

Perspectives de développement

Actuellement GéoStation est principalement un instrument de gestion des domaines à travers une interface cartographique. *"Pour beaucoup de domaines skiables, le saut technologique est important, à la fois dans l'acquisition de la donnée et dans la découverte d'un instrument intéressant"* déclare Jean-Christophe Loubier. Le marché est donc en train de se déployer sur la base d'applications classiques et traditionnelles du SIG. Eric Lanzi, PDG de GeoConcept, estime quant à lui que *"GéoStation représente un exemple parfait des nombreuses applications rendues possibles par GeoConcept. L'aide à la gestion des contraintes de milieu en zone à risque fait partie des axes de développement essentiel de GeoConcept"*.

Le potentiel de développement d'applications nouvelles relatives aux domaines skiables reste encore à inventer. ORODIA investit massivement dans la recherche dans ce sens afin de conserver son avance sur la concurrence. Deux axes sont actuellement exploités : les modules supplémentaires axés métier comme le suivi du damage, l'information aux clients en temps réel par Internet, et l'analyse spatiale tactique pour les décideurs comme le suivi cartographique du manteau neigeux par radar, la prospective climatique et la géostatistique. GéoStation va s'étoffer. Le gestionnaire pourra bientôt tenir compte des observations d'évolution de son domaine en quasi-temps réel pour optimiser son action à venir sur le manteau tout en offrant un service supplémentaire au client. Ce dernier point permettra à GéoStation de sortir facilement des frontières alpines françaises : la dimension "service aux clients" est en effet universelle, ce qui n'est pas tout le temps le cas en matière d'aménagement. Sur cette base, des projets transnationaux sont en cours.

Les plus grosses stations françaises se sont intéressées à ORODIA, qui compte parmi ses références plus de 50 sites en cartographie numérique tels que Les 2 Alpes, Les 3 Vallées, La Plagne, Meribel, Les Portes du Soleil... Au Japon, ORODIA a réalisé les plans de la station de Geihoku ; des projets sont en cours sur les stations de Westrock aux Etats-Unis, sur Andorre et sur l'Espagne. GeoConcept étant un produit multi-langages, les applications peuvent être reproduites sur l'ensemble du globe. ●

ABSTRACT

GeoStation is a geomatic solution dedicated to the management of ski slopes. Developed by ORODIA, a French company based in Grenoble, GeoStation, which is built on the GeoConcept G.I.S. platform, integrates terrain data combined with aerial photography and GPS surveys. These are processed using advanced techniques such as digitalisation, photogrammetry, and 3D display. The applications of GeoStation are numerous and provide determining assistance to ski slope management: prevention of risks, viewing of new ski runs and infrastructures, ski lifts, networks, works management, installation of snow cannons, tourist information, etc. GeoStation has been established successfully in several ski resorts throughout the world and is likely to experience increasing expansion.

Application de la représentation Lambert 93

■ **Paul COURBON** Ingénieur des travaux (IGN), géomètre-expert

Le décret n°2000-1276 du 26 décembre 2000, paru au Journal Officiel du 28 décembre 2000, et son correctif de janvier 2001 applicable à partir du 1^{er} février 2001 officialise le système géodésique RGF 93 et la représentation Lambert 93 pour le territoire français.

L'article 2 de ce décret prévoit : "L'Institut Géographique National en zone terrestre et le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine en zone maritime, entretiennent et diffusent à tout demandeur public ou privé, l'information relative à ces systèmes et à leurs caractéristiques ainsi que les éléments nécessaires à la transformation des systèmes les plus couramment utilisés sur le territoire national, dans le système de référence national défini à l'article 1^{er}."

Un an et demi après, il est intéressant de savoir où en est l'application de cette loi et, surtout, les difficultés rencontrées pour sa mise en œuvre et sa compréhension par les différents utilisateurs. Avant de nous attacher à ces points, nous préférons donner quelques rappels à l'attention de nos lecteurs.

Positionnement d'un point sur la terre

Le premier type de positionnement, lié à l'astronomie de position, est la latitude, angle entre la verticale du lieu et le plan de l'équateur et la longitude, angle entre le méridien du lieu et un méridien origine : généralement celui de Greenwich.

Les différents types de représentation plane (projection)

Mais pour pouvoir reporter ces coordonnées sur un plan, il est nécessaire de rechercher un système de représentation permettant de passer de la surface terrestre au plan.

Il n'est pas facile de se familiariser avec tous les systèmes employés dans le monde. Au XIX^e siècle, mis à part de système métrique introduit par les scientifiques français au moment de la Révolution, il n'y avait aucun système universel. Chacun travaillait dans son coin. C'est ainsi que pour représenter la terre sur un plan, sont apparues, les représentations Lambert, Mercator, Bessel, Bonne, etc. appelées aussi projections.

■ Le géoïde et l'ellipsoïde

La terre est un solide irrégulier. On avait défini le géoïde comme le prolongement des mers au dessous de continents. Liée à la gravité, cette surface est elle aussi irrégulière. Les satellites ont confirmé des creux de plus de 100 m sur la surface des océans par rapport à un modèle géométrique. Or, il est nécessaire de définir un modèle mathématique pour pouvoir faire tous les calculs de transformation qui aboutissent au plan cartographique. Le modèle mathématique le plus proche du géoïde est l'ellipsoïde.. Là aussi, en fonction des travaux réalisés par les scientifiques, plusieurs ellipsoïdes furent adoptés. Les uns s'adaptent bien à une région, les autres à une

autre région. En France, l'ellipsoïde associé à la représentation Lambert était celui de CLARKE 1880 IGN.

L'apparition des satellites et le calcul de leurs trajectoire a permis de mieux définir la forme exacte de la terre. Ces satellites sortaient du cadre hexagonal. Il convenait de définir un nouvel ellipsoïde mieux adapté que le Clarke 1880 à l'ensemble du globe terrestre. Nous en reparlerons plus loin.

■ Les points fondamentaux

Au XVII^e siècle commença la géodésie française. Chaque pays bâtissant ensuite sa géodésie, le fit indépendamment des pays voisins. Chacun démarra d'un point dit "fondamental", déterminé astronomiquement et où l'ellipsoïde et le géoïde correspondaient conventionnellement. Etant donné la précision des instruments utilisés, surtout en ce qui concerne la mesure du temps très importante en astronomie de position, étant donnée l'absence de radio-communication, ces points n'avaient qu'une précision de quelques dizaines de mètres, au mieux. Même avec un système de représentation unique, on n'aurait pu raccorder les géodésies des différents pays. Une volonté d'unification apparut après la seconde guerre mondiale, avec le système européen ED 50 qui n'avait qu'un seul point fondamental, situé à Postdam.

■ La représentation UTM

La représentation UTM (Universal Transverse Mercator) est la représentation ■■■

■ ■ ■ de la terre sur un cylindre tangent à l'ellipsoïde suivant un méridien. C'est la plus utilisée. Pour limiter les déformations inévitables quand on passe d'une surface courbe au plan de la carte, on limite la représentation à 3° de part et d'autre du méridien central, soit une plage totale de 6°. Il y a donc 60 zones UTM pour représenter toute la terre. On dit que c'est une représentation universelle, car les paramètres de transformation sont les mêmes pour toutes les zones, différemment de la représentation Lambert. La France, dont la longitude va de 5° Ouest par rapport à Greenwich, jusqu'à 8° Est, se trouve à cheval sur trois zones : 30, 31 et 32. Ce qui pose des problèmes quand on passe d'une zone à l'autre, car il n'y a pas de continuité dans les coordonnées rectangulaires.

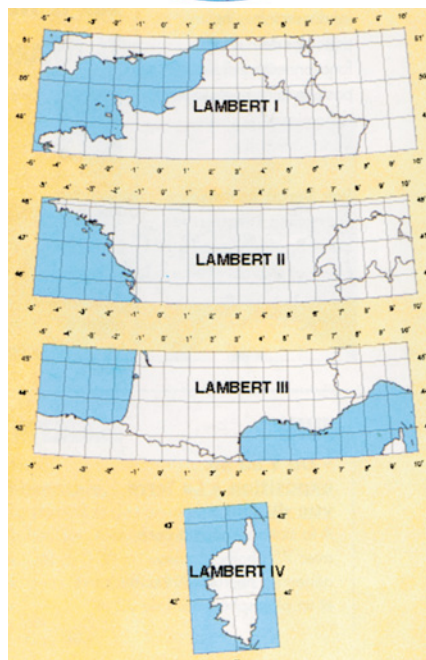
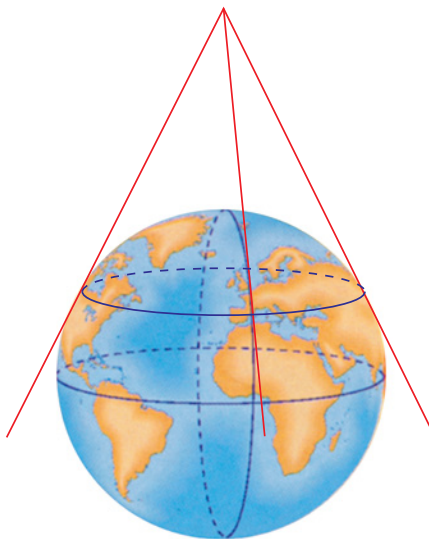


■ La représentation Lambert

La représentation Lambert fut adoptée en France au début du XX^e siècle, au commencement des levers de la nouvelle carte au 1/20 000. La Réunion, la Guyane et les Antilles sont dans la représentation U.T.M.

La représentation Lambert se fait sur un cône tangent à l'ellipsoïde suivant un parallèle. Pour limiter les déformations, on avait partagé la France en trois zones, plus une quatrième pour la Corse. La déformation maximale était de 12cm/km en limite de la zone II. Mais, ces différentes zones généraient

un manque de continuité de coordonnées. En allant du nord au sud, on passait d'une zone à l'autre. Un point de coordonnées $x=900.000,0 / y=335.000,0$ dans la zone Lambert III aurait pour coordonnées métriques : $x=900.036,7$ et $y=35.262,4$ dans la zone Lambert II.



Avec l'apparition des Systèmes d'Information Géographiques (SIG) et des banques de données couvrant la France entière, un point de coordonnées données pouvait avoir trois positions. Il devenait nécessaire de n'avoir qu'une zone. C'est ainsi que fut créée la zone "Lambert II étendue" qui couvrait toute la France continentale. Le problème est en bordure de zone où l'on trouve une altération linéaire de l'ordre de 3m/km.

■ Les coordonnées rectangulaires kilométriques

Le report sur le plan d'un point défini par sa latitude et sa longitude est compliqué par le fait que la longueur d'un arc de parallèle varie en fonction de la latitude. Il est plus pratique de définir un carroyage kilométrique ayant pour axe des ordonnées le méridien origine, représenté en Lambert comme en UTM par une ligne droite. En ce qui concerne la France, ce sont les coordonnées Lambert.

■ Les coordonnées trirectangulaires ou cartésiennes

Dans les levés topographiques terrestres, le troisième élément des coordonnées est l'altitude z . Élément indispensable pour voir le sens d'écoulement de l'eau, associée si étroitement à notre vie. Cette altitude z , liée au niveau de la mer, liée à la bulle des nivelles donc à la gravimétrie, se rattache au géoïde. Nous avons ainsi un système de coordonnées "bâtard", utilisant deux systèmes de références différents. Les abscisses et les ordonnées sont définies dans un système ayant pour repères l'axe des pôles, le plan de l'équateur et le méridien de Greenwich. L'altitude, quant à elle, est rattachée à la surface du géoïde.

L'apparition des satellites qui tournent autour du point théorique qu'est le centre de gravité de la terre, demandent un système de calcul unique, qui ait ce centre de gravité pour origine. C'est ainsi que fut adopté un système de coordonnées trirectangulaires ou cartésiennes, ayant une origine proche du centre de gravité de la terre, pour axe OZ l'axe des pôles, l'axe OX étant contenu dans le plan du méridien de Greenwich. C'est le cas du système WGS 84 encore employé dans de nombreux GPS, amélioré avec l'IRTF 2000.

Mais, quand on voit afficher un Z de 4.645.363m, pour nous terriens, habitués à un z par rapport à la mer, cela ne veut rien dire ! Il faut donc transformer ces coordonnées dans un système mieux adapté à la surface terrestre sur laquelle nous vivons. Mais, là encore se pose un dernier problème. Pour faire

nos calculs de transformation, il nous faut un modèle mathématique qui est l'ellipsoïde. Or, en France, la hauteur entre l'ellipsoïde et le géoïde varie entre 35 et 50 mètres suivant les endroits. Les logiciels de calcul devront donc comporter un modèle de géoïde pour pouvoir passer de la hauteur ellipsoïdique, donnée par les calculs de transformation, à l'altitude au dessus de la mer qui seule nous intéresse. Ce modèle de géoïde, mis au point par Henri Duquenne (ESGT) est utilisable en se calant sur les points du RGF 93.

Le RGF 93 et la représentation Lambert 93

Mais, avec l'avènement de la géodésie spatiale, il est apparu que nos modèles de calcul étaient assez éloignés de la réalité. L'arrivée des satellites puis, surtout, le GPS, remettaient en cause toute la procédure géodésique. On pouvait enfin quitter le cadre "hexagonal" pour entrer dans un cadre mondial. Il fallait donc entrer dans un système de références plus étendu et, surtout, mieux défini. Adieu le point fondamental de Paris, adieu l'ellipsoïde de Clarke 1880 IGN !

■ le nouveau système géodésique

L'ellipsoïde de Clarke 1880 IGN fut remplacé par l'ellipsoïde GRS 80 optimisé pour l'ensemble du monde. Était créé le système tridimensionnel géographique RGF 93, équivalent au système de référence européen ETRS 89 rattaché à une partie stable de la plaque eurasiennne, en cohérence avec le système mondial ITRF 93. Un canevas de 1023 points, de

précision centimétrique et réalisé au GPS matérialise le système géodésique RGF 93.

Le système tridimensionnel géographique est défini par la latitude, la longitude et la hauteur par rapport à l'ellipsoïde GRS 80. Il est donc indépendant de tout système de représentation.

Différemment de ce qui se passait dans les anciens répertoires géodésiques qui ne donnaient que les coordonnées Lambert zone des points, les nouveaux répertoires donnent les coordonnées en tridimensionnel géographique et ensuite en Lambert 93.

■ La nouvelle représentation LAMBERT 93

Nous avons dit précédemment que pour des raisons de S.I.G. national, il était préférable de n'avoir qu'une seule zone pour toute la France. C'était la raison de la zone Lambert II étendue.

Associée au RGF 93, la représentation plane du territoire continue à se faire en Lambert, sur un cône légèrement sécant à cet ellipsoïde GRS 80. Mais en une seule zone pour toute la France. Le méridien origine n'est plus celui de Paris, mais 3° Est de Greenwich, la latitude origine est de 46°30'. Pour éviter les coordonnées négatives, les coordonnées du point origine sont de 700.000,00 en x et 6.600.000,00 en y. Pour diminuer les altérations linéaires, nous avons deux parallèles d'échelle conservée (altération linéaire 0) à 44° et 49° (où le cône est sécant à l'ellipsoïde). Mais cette altération reste quand même supérieure à +3m/km à l'extrême sud de notre pays (Bonifacio) et un peu inférieure à l'extrême nord (Dunkerque). Elle est de -

0.95m/km à la latitude origine. On aurait pu profiter de tous ces changements pour adopter carrément la représentation UTM, mais cette opportunité n'a pas été saisie. La raison invoquée est la difficulté de créer un algorithme de calcul adapté à une zone UTM très élargie. Il y avait sans doute d'autres raisons valables pour rester en Lambert, d'autant plus qu'une zone UTM agrandie aurait échappé au découpage normal des fuseaux UTM, de 6° en 6°. Mais, à une époque où se crée l'Europe, n'aurait-il pas fallu chercher une harmonisation avec les autres pays ?

Nous voyons qu'il ne faut pas confondre le RGF 93 qui est un système de points géodésiques, avec le Lambert 93 qui est une représentation plane de l'ellipsoïde.

le décret d'application du 26 décembre 2000 (J.O. du 28.12.2000) et son correctif de janvier 2001

Comme vu plus haut, ce décret officialise le système RGF 93 qui devient le système légal français, auquel est associée la représentation Lambert 93. Mais, ses modalités d'application restent trop générales. L'article 2 stipule que l'IGN reste à la disposition des demandeurs, mais aucun délai d'application n'est précisé pour les administrations qui n'ont pas encore exploité des levés en Lambert local, exécutés antérieurement pour des besoins d'études. Si l'IGN a mis à jour tous ses répertoires géodésiques, nous ne savons encore quand toute la cartographie 1/25 000 non informatisée sera actualisée pour un utilisateur lambda. Quant aux autres ■■■

L'ellipsoïde Clarke 1880 IGN est remplacé par l'ellipsoïde GRS 1980, optimisé pour l'ensemble du monde. Un canevas de 1023 points de précision centimétrique, réalisé au GPS, matérialise le système géodésique RGF 93, fourni en coordonnées tridimensionnelles géographiques. La représentation Lambert 93 est une représentation plane de l'ellipsoïde, en une seule zone pour la France continentale et la Corse. Lui sont associées les coordonnées Lambert 93. Nous voyons qu'il ne faut pas confondre le RGF 93, système de points géodésique, avec le Lambert 93, représentation plane de l'ellipsoïde.

■■■ administrations, je ne sais où elles en sont. Dans le Var, les géomètres fournissent toujours aux DDE des levés en Lambert III, même quand ils dépassent 500 mètres de long ! L'exemple de Marseille et Toulon, ou du département du Var m'indique que les collectivités locales sont encore loin d'avoir adopté le nouveau système.

■ Le problème de l'altération linéaire

Nous avons vu que le choix d'une zone unique pour toute la France était dicté par les SIG nationaux. La représentation Lambert 93 est donc avant tout destinée aux échanges. La priorité a été donnée aux Systèmes d'Information Géographique plutôt qu'à la topographie de base.

Je ne sais si l'attention des utilisateurs a été suffisamment attirée sur l'altération linéaire en limite de zone. Implanter un bâtiment de 100 mètres ne demandait aucune précaution quand l'altération maximale était de 12 cm/km. Si un architecte conçoit un gros ouvrage à un endroit où on dépasse 3m/km et qu'il travaille sur un plan établi en Lambert 93, attention aux dégâts. Il vaudra mieux travailler sur des coordonnées indépendantes locales, quitte à les transformer ensuite pour entrer dans le cadre légal. Dans les pays où ce problème se pose depuis longtemps, on fait attention. Le fera-t-on, dès maintenant, en France ? Il faudra que tous les logiciels d'implantation tiennent compte de l'altération linéaire pour pouvoir implanter directement des ouvrages à partir des coordonnées Lambert 93. Les cotes périmétriques affichées sur les plans de bornage rattachés au Lambert 93 ne devront-elles pas être corrigées de l'altération linéaire par un logiciel approprié ? C'est là qu'apparaît le problème de l'application d'une loi, dont le texte trop général n'a donné ni délais, ni procédure d'adaptation précise. On renvoie les utilisateurs à l'IGN ! Or, si l'IGN est parfaitement spécialisé en géodésie, il ignore totalement les plans de délimitation ou de bornage avec des cotes périmétriques ! Il n'a

Pour privilégier les SIG nationaux, le Lambert 93 ne comporte qu'une zone pour toute la France. Il en résulte une altération linéaire comprise entre -1m et +3m/km. Cela pose des problèmes aux topographes.

aucun pouvoir sur les fabricants de matériel.

Les confrères géomètres que j'ai questionnés n'ont pas tous pris conscience de ce problème. Ils n'utilisent d'ailleurs pas encore le Lambert 93 ! Je dois ajouter que l'ordre des Géomètres-experts a publié une magnifique brochure sur le système Lambert 93, mais qui reste trop générale et ne rentre pas du tout dans le détail. Elle est inutilisable en pratique, par le géomètre de base.

Il faut préciser que la plupart des logiciels topographiques ne calculent pas l'altération linéaire en fonction des coordonnées Lambert. Il faut introduire l'altération linéaire du lieu avant les calculs. Il faudra que tous les prochains logiciels prennent en compte les coordonnées Lambert pour introduire automatiquement ces altérations. Là encore, un vaste travail reste à faire qui n'a pas été prévu par le décret d'application. La diffusion du programme CIRCE 2000 par voie d'Internet (1) est très intéressante. Mais, il faudra des instructions précises et suffisamment pédagogiques pour ceux qui utilisent la topographie et ont cessé leurs études depuis longtemps.

■ Nul n'est censé ignorer la loi... et pourtant !

Nul n'est censé ignorer la loi, mais la paresse naturelle de l'homme l'amène à toujours remettre à demain les changements qui demandent un effort d'adaptation ! Je pense que le passage au Lambert 93 sera plus laborieux que celui à l'euro... cela nécessitera un gros effort d'information de la part de l'IGN, auprès des autres administrations, auprès des géomètres et géomètres-experts, des bureaux d'étude et cela, d'une manière pédagogique et accessible par la majorité.

Quel doit être le rôle de l'IGN

Bien qu'il ait à subventionner en partie son budget, l'IGN est en premier lieu un service public. Je pense que son rôle ne doit pas être passif, à attendre qu'on lui pose des questions, mais actif. Il doit précéder ces questions. Cela, d'autant plus, que bien que la loi ait été signée par des politiques, l'IGN fait partie de ceux qui sont à l'origine de cette loi. De ce fait, l'IGN doit se sentir impliqué dans son application.

Comment, un agent d'une collectivité locale ou départementale, dont la spécialité n'est pas la géodésie et qui a certainement oublié les vagues notions qu'on lui a inculquées il y a longtemps et très rapidement, pourrait-il poser les questions pertinentes à l'IGN ?

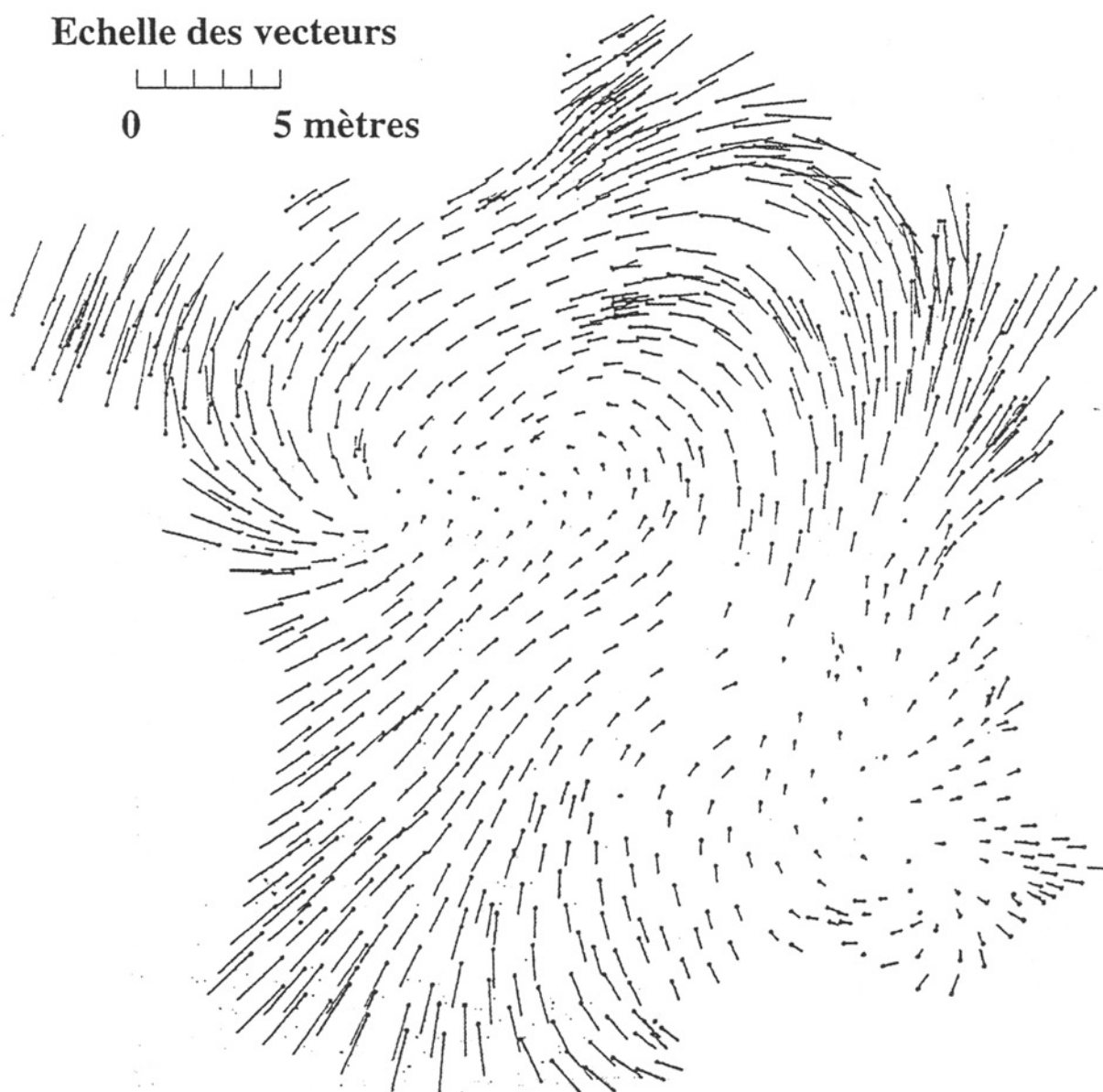
Il faut aussi rappeler que la plupart des géomètres-experts étant axés sur le foncier, les problèmes liés à la géodésie ne sont pas leur spécialité. Accaparés par les problèmes de gestion de leur cabinet, par les problèmes d'urbanisme, de bornage, les expertises, la plupart d'entre eux ont perdu de vue leur cours de géodésie. Il leur est difficile de trouver du temps pour se recycler. D'ailleurs, si nous questionnions des ingénieurs IGN qui ont choisi depuis longtemps des postes de gestion, nous aboutirions au même constat.

Mais, il n'y a pas que les géomètres. Il faut aussi penser aux bureaux d'étude, aux architectes, aux géomètres des sociétés de travaux publics dont aucun n'est spécialiste de géodésie.

■ L'IGN ne doit pas penser IGN, mais usager non spécialiste de la géodésie

Je rappelle l'article 3 de la loi du 26 décembre 2000 :

"Le rattachement des informations localisées au système national de réfé-



Les déformations de la N.T.F. par rapport à un système spatial (document IGN)

rence peut être réalisé suivant l'une des trois modalités suivantes :

- en fournissant les informations dans les systèmes légaux de coordonnées.
- en fournissant les informations dans tout autre système accompagné des éléments nécessaires à leur transformation dans le système national de référence de coordonnées avec le même niveau de précision que celui des informations d'origine.
- en reportant les informations sur un fond de plan graphique ou numérique lui-même rattaché selon l'une des deux modalités précédentes avec le même niveau de précision que celui du fond de plan utilisé".

Première réaction : beaucoup de gens n'ont pas compris l'utilité de la représentation Lambert 93, si pour des travaux de génie civil (et ce qui n'est pas précisé, pour des plans de bornages comportant de longues cotes périmétriques) il faut rester dans un système de coordonnées indépendantes.

Les modalités 2 et 3 de l'article 3 ne sont ■■■

“Les observations GPS du réseau RGF 93 ont révélé des distorsions importantes dans la NTF déterminée par triangulation. Dans certaines zones, ces distorsions dépassent 5 mètres”.

■ ■ ■ pas accessibles aux non spécialistes. L'IGN doit donner deux ou trois cas de procédure strictes, associés à un exemple. Ceci doit faire l'objet d'un fascicule largement distribué aux administrations, collectivités et professions concernées. Les administrations qui passent des marchés avec les géomètres doivent stipuler clairement les documents exigés. Faudra-t-il fournir deux points ou trois points d'un lever dans les deux systèmes de coordonnées et appartiendra-t-il à l'administration qui reçoit le plan de faire elle-même un changement de base ? Quelle est l'utilité de faire ce changement de base ? comment et par qui sera-t-il utilisé ? La troisième modalité laissant le choix graphique ou numérique, il est difficile de comprendre comment elle pourra être appliquée sur un plan purement graphique !

■ Il faut comprendre pour appliquer

L'utilisateur n'est pas un fonctionnaire que l'on dirige par notes de service. Pour motiver les gens, il faut qu'ils comprennent. En premier lieu, il faut expliquer pourquoi deux systèmes : un indépendant pour des travaux de génie-civil ou autre et pourquoi des éléments de rattachement au Lambert 93. Quelle est la justification de ce double système ? Si les gens ne le comprennent pas, ils ne le feront pas. Ensuite, il faut que l'IGN développe deux ou trois exemples concrets pour son application. L'Ecole Nationale des Sciences Géographiques (ENSG) ne manque certainement pas de pédagogues pour ce faire !

■ Les logiciels

De même, les nouveaux logiciels de topographie doivent prendre en compte les conséquences de la forte altération linéaire. Une concertation doit se faire à ce sujet.

Transformation des coordonnées Lambert zone en Lambert 93

A première vue, cela devrait être très simple, un seul logiciel avec les algorithmes adéquats permettant de faire rapidement la transformation du Lambert zone 1, 2 ou 3 en Lambert 93. Mais, une transformation mathématique ne peut se faire que d'un système rigoureux à un autre système rigoureux. Or, si le RGF 93, réalisé par GPS dans un système mondial est rigoureux, il n'en est pas de même pour l'ex "Nouvelle Triangulation de la France" (NTF) réalisée précédemment par triangulation.

Cette triangulation avait été mise à l'échelle par la mesure d'une dizaine de bases qui avaient été amplifiées. Un certain nombre d'orientations astronomiques (une tous les 300 km) avaient été réalisées sur l'ensemble du territoire. Il est apparu que la précision de ce réseau était de 10^{-5} , soit de 5 cm sur un coté de 5 km. Après reprises des points NTF par GPS, il est apparu que la pauvreté des mises à l'échelle et des orientations, conjuguée au traitement par plusieurs blocs du 1^{er} ordre (et non un seul bloc comme le permettraient les moyens informatiques actuels) avait amené des distorsions de plusieurs mètres entre les points éloignés (voir figure). Dispersions incompatibles avec la précision des GPS. Il en résulte que la conversion des coordonnées NTF en RGF nécessite une grille de transformation dénommée GR3DF97A. Il faut ajouter que la précision du RGF est passée à mieux que 10^{-6} , puisqu'on parle d'une e.m.q de 2cm pour tout le pays.

L'examen de la figure montre que dans les Alpes et au centre de la France, le NTF et le RGF sont cohérents. Par contre, de fortes divergences existent en Bretagne, au nord et nord-est et

dans le sud-ouest. Ces divergences peuvent dépasser cinq mètres. Dans une même zone, deux points proches ayant une divergence du même ordre, ils seront cohérents entre eux, avec toujours une précision relative de 10^{-5} . Mais, entre un point de la Bretagne et un point de la Provence on va constater une divergence de plus de cinq mètres. Ce qui n'était pas perceptible au temps de la triangulation, l'est maintenant avec les GPS.

En guise de conclusion

Comme vu précédemment, le système géodésique RGF 93 est un système tridimensionnel géographique. C'est un système de coordonnées, indépendant de la représentation utilisée et valable dans un cadre qui dépasse largement la France. A ces coordonnées géographiques sont associées les coordonnées rectangulaires Lambert 93

Une question peut aujourd'hui se poser : étant donnés les progrès énormes de l'informatique et les possibilités quasi-illimitées des logiciels qui permettent facilement et rapidement de passer d'un type de coordonnées à un autre, pourquoi a-t-on décidé de n'avoir qu'une seule zone Lambert pour la France ?

N'était-il pas aussi simple d'employer les coordonnées géographiques pour tous les S.I.G. et banques de données, ce qui nous aurait permis de dépasser le cadre du territoire national et, dans certains cas de faire plus facilement des échanges avec les pays voisins ?

Les problèmes que je soulève l'ont déjà été, puisque depuis deux ou trois mois, le Centre National de l'Information Géographique (CNIG) a mis en place un groupe de travail. Je souhaite qu'à l'issue des travaux de ce groupe, soit publié un fascicule donnant toutes les informations, explications, exemples d'application nécessaires. Que ce fascicule, à la charge des collectivités, de l'Ordre des géomètres, etc..., soit largement diffusé. ●

(1) site Internet de l'IGN : www.ign.fr

"Avec les progrès prodigieux de l'informatique, ne pouvait-on pas envisager d'employer les coordonnées géographiques pour les SIG. Indépendantes des représentations planes, elles auraient permis de dépasser le cadre hexagonal".

COPTOS

ou les ruines d'un passé prestigieux



■ Tania NEUSCH et Samuel GUILLEMIN

Le site archéologique de Coptos (Haute-Egypte) n'est à peu près connu que des égyptologues... Son triste état de conservation en est sans doute la cause. Claude Traunecker, Professeur d'Université en Egyptologie à Strasbourg, en a fait cependant l'un de ses principaux sujets d'intérêt soulignant toute l'importance revêtue par Coptos pendant près de trois millénaires. Soucieux de la préservation des vestiges, il estimait qu'il était grand temps qu'une base de données soit enfin établie et qu'un levé de l'existant en constitue les bases. La filière Topographie de l'ENSAIS a ainsi été contactée pour intervenir sur le chantier et mettre en place un canevas d'appui qui devra servir de support aux prochaines campagnes de fouilles.

Coptos, actuelle Qouft, est une petite bourgade située à environ 30 km au nord de Louxor. Sa situation géographique est présentée sur la carte ci-contre.

Geneviève Galliano, conservateur au Musée des Beaux-Arts de Lyon, nous a accompagnés sur le vol Paris-Louxor et nous a relaté le passé prestigieux de Coptos dans l'histoire de l'Égypte antique (cf. témoignage).

Atterrissage à Louxor le 25 mai à 21h30, température extérieure : 39°C...

Le lendemain de notre atterrissage, nous étions attendus à la maison de fouilles de Denderah, à une soixantaine de kilomètres au nord de Louxor, par le chef de mission Laure Pantalacci, Professeur d'Université en Egyptologie à l'Université de Lyon II, et Marie-Christine Petitpa, doctorante à Lyon II. Les autres membres de l'équipe étaient des collègues strasbourgeois de l'Université Marc-Bloch, à savoir Annie Schweitzer, chargée des collections de l'Institut d'Égyptologie et Claude Traunecker.

Mission topographique...

D'un point de vue topographique, la mission consistait à mettre en place un canevas de points sur l'ensemble du site archéologique couvrant environ 500 x 400 m.

Le matériel topographique, à savoir un T1600 avec distance-mètre ainsi que le petit matériel tel que trépied, canne, prisme, interface de transfert, etc. nous a été prêté gracieusement par l'IFAO (Institut Français d'Archéologie Orientale) du Caire.

Les deux premiers jours furent consacrés à une reconnaissance du terrain, l'objectif étant de repérer, avec l'aide des



TÉMOIGNAGE



de Geneviève Galliano,

Conservateur au Musée des Beaux-Arts de Lyon.

Grand centre religieux et carrefour commercial de la période prédynastique à la conquête arabe, Coptos s'est ensuite endormie pendant quelques siècles sur son passé prestigieux.

Les premiers découvreurs de l'Égypte passent sur le site, mais l'état déjà fort dégradé des vestiges ne suscite alors qu'un intérêt modéré. A la fin du XIX^e, l'égyptologue anglais sir William Flinders Petrie entreprend des fouilles dans le grand temple du dieu Min et de la déesse Isis notamment. En 1910 et 1911, les français Adolphe Reinach et Raymond Weill, reprennent des travaux sur l'ensemble du site. Ils étudient les éléments mis au jour et réalisent un plan des structures ; ils mettent au jour des milliers d'objets (du support de barque en granit de près d'une tonne et demie au modeste vase miniature en terre cuite) qui seront offerts, pour l'essentiel, au musée Guimet de Lyon (fonds transféré en 1969 au musée des Beaux-Arts de Lyon).

Cette collection a fait l'objet du 3 février au 7 mai 2000, à Lyon, d'une exposition retraçant à la lumière des recherches actuelles l'importance de Coptos dans l'histoire de l'Égypte antique (catalogue *Coptos, l'Égypte antique aux portes du désert*, R.M.N., 2000 ; *Coptos et les routes de la mer Rouge*, documentaire-vidéo (réalisateur A. Chéné) ; *Autour de Coptos*, actes du colloque, *Topoi*, 2002).

Quatre-vingt onze ans après les dernières fouilles menées sur le site, le musée des Beaux-Arts de Lyon a participé avec beaucoup d'intérêt – et un peu d'émotion – à de nouvelles aventures archéologiques à Coptos.

■■■ archéologues, les zones de dégagements ultérieurs afin de positionner les points de canevas de manière judicieuse. La surprise fut de taille en constatant l'état de délabrement général du site. En effet, une grande partie était recouverte de ronces et, seuls quelques blocs de pierre épars et rescapés des pillages affleuraient à la surface du sol. Le sort réservé à ce site depuis quelques années se résumait à une décharge publique. Un mur censé protéger ce patrimoine a bel et bien été érigé autour du site, mais le manque de moyens a perturbé les derniers mètres de construction... Ainsi les habitants du village en manque de pierres de construction et les chiens sauvages semblaient s'être accaparés les lieux.

Les points du futur canevas ont été signalisés par des jalons tout d'abord, afin de s'assurer de l'inter-visibilité et de la possibilité de réaliser un maximum de visées permettant la surdétermination des observations et la compensation du réseau. Les 14 points choisis ont été répartis de manière homogène sur le terrain en prévoyant des visées de 150 à 250 m, afin de réduire le phénomène de réfraction. Par la suite, ces points de canevas ont été matérialisés à l'aide d'amarres Feno de 50 cm situées à environ 20 cm de profondeur. Et pour s'assurer d'une part de la stabilité des bornes et d'autre part de leur pérennité, nous avons coulé du béton autour des amarres.



Matérialisation des points (amarres bétonnées).

L'ensemble a été réalisé à l'abri des regards indiscrets. En effet, une équipe d'archéologues australiens s'était appuyée sur 4 points lors d'une campagne en novembre 2001, dont il ne restait plus aucune trace en mai 2002... Avec l'aide de deux ouvriers égyptiens, payés par la mission pour la durée du chantier, il a ainsi été assez aisé de positionner les 14 points constituant le canevas en moins de 2 jours.

Ensuite, chaque point a été stationné et observé par visées multiples pour constituer un réseau de points dont les coordonnées définitives ont été calculées dans un système local indépendant orienté approximativement au nord.

La compensation par les moindres carrés s'est appuyée sur 11 points, les 3 points restants étant situés hors de l'enceinte du mur et observés par rayonnement uniquement (fig.1). Les coordonnées définitives compensées en X, Y, Z présentaient une erreur moyenne quadratique de ± 3 à 7 mm en planimétrie et de ± 1 à 2 mm en altimétrie. Certaines références (des minarets de mosquées) ont néanmoins été éliminées de la compensation en raison de leur proximité au chantier et surtout de la difficulté à viser un point caractéristique.

La précision obtenue était très satisfaisante compte tenu des conditions de travail et de l'objectif fixé. En effet, lorsque les archéologues réalisaient un dessin au 1/100^e, leur précision graphique était située bien au-delà du 0,1mm graphique, donc du centimètre terrain. Donc la notion d'échelle n'est pas vraiment associée à la notion de précision comme c'est le cas en topographie.

Le premier levé de détail a été consacré au mur moderne constituant la limite du chantier ainsi qu'aux enclaves au sud, dans lesquelles étaient disposés la porte Sud du *temenos*, le temple du dieu Geb accompagné de la chapelle de Cléopâtre, ainsi qu'un tombeau.

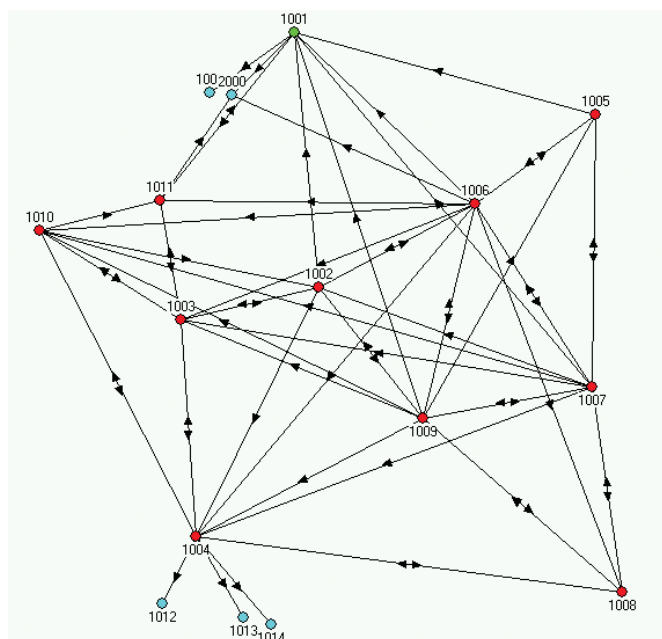


Fig.1 : Croquis du réseau de points (plein Nord)

Plus tard, suivant la disponibilité des archéologues, nous avons effectué le levé des blocs de pierre constituant les églises de l'ouest dont un baptistère, les ruines du Temple de Min et d'Isis constituant les édifices du centre ainsi que les blocs de pierre en place du temple dit "d'Osiris" dans la partie sud. Enfin, la porte est de la ville, qui était flanquée d'une colonnade et d'un grand portique, devant des boutiques de marchands, a été relevée et positionnée sur le site. Une vue d'ensemble du canevas de points et des levés réalisés est présentée à la fin de l'article.

Levés archéo-topographiques

Les levés topographiques des blocs de pierre ont été réalisés avec l'archéologue responsable du secteur. Nous avons alors pu constater deux manières d'aborder un dessin archéologique. La première fait intervenir le topographe dès le début, en levant des points caractéristiques sur lesquels reposera le dessin de l'archéologue. La seconde manière consiste tout d'abord à interpréter le site, à réaliser un croquis approximativement à l'échelle et ensuite à lever quelques points permettant de recadrer le dessin. Dans le premier cas, chaque pierre, chaque encoche, chaque détail est levé, tandis que dans le second, seulement quelques coins de blocs pierre sont observés.

Loi des 35°C et des 35 heures...

La journée typique de travail démarrait dès l'aube, vers 5h00. Une pause en milieu de matinée permettait de se rafraîchir dans les locaux où était entreposé le matériel de fouille. A la fin de la journée, soit vers midi, lorsque le thermomètre grimpait à plus de 50°C, nous nous redirigions sous escorte vers Denderah, à côté du temple de la déesse Hathor, dans la maison de fouille où nous logions.



Levé de détail

L'escorte policière nous accompagnait non seulement pour les déplacements en automobile, mais aussi sur le terrain. Les jeunes policiers armés en permanence étaient censés nous protéger de toute agression extérieure. Néanmoins, ils ont souvent préféré surveiller les archéologues quasi-immobiles que les topographes courant d'un point à l'autre pour surdéterminer leurs observations !

Après l'effort... la culture

Dès que possible, après le traitement des données observées durant la matinée, nous visitons les sites proches, notamment le temple de Denderah situé juste derrière le jardin de la maison. Nous disposons d'une chance inouïe car à cette heure-là le temple était vidé des touristes et nous avions, à nos côtés, nos collègues égyptologues pour nous guider à travers l'espace et le temps tout en nous faisant partager leur passion pour l'égyptologie.

Lors de notre passage à Karnak, nous avons également eu le plaisir de rencontrer Antoine Chéné, photographe au Centre franco-égyptien d'Etudes des Temples de Karnak, qui nous a présenté ses travaux de traitement d'images.



Antoine Chéné devant les Temples de Karnak

En conclusion...

Cette expérience aura été enrichissante tant sur le plan topographique que culturel. Nous avons eu la chance de rencontrer et de travailler avec des archéologues et des égyptologues, dont les objectifs ne sont pas d'atteindre un positionnement millimétrique, mais avant tout de sauvegarder la situation actuelle, de protéger le savoir et les connaissances et d'en découvrir de nouvelles facettes.

Au terme de cette mission, les archéologues et égyptologues sont confortés dans l'idée que Coptos regorge de merveilles que l'on mettra plusieurs années à dégager totalement.



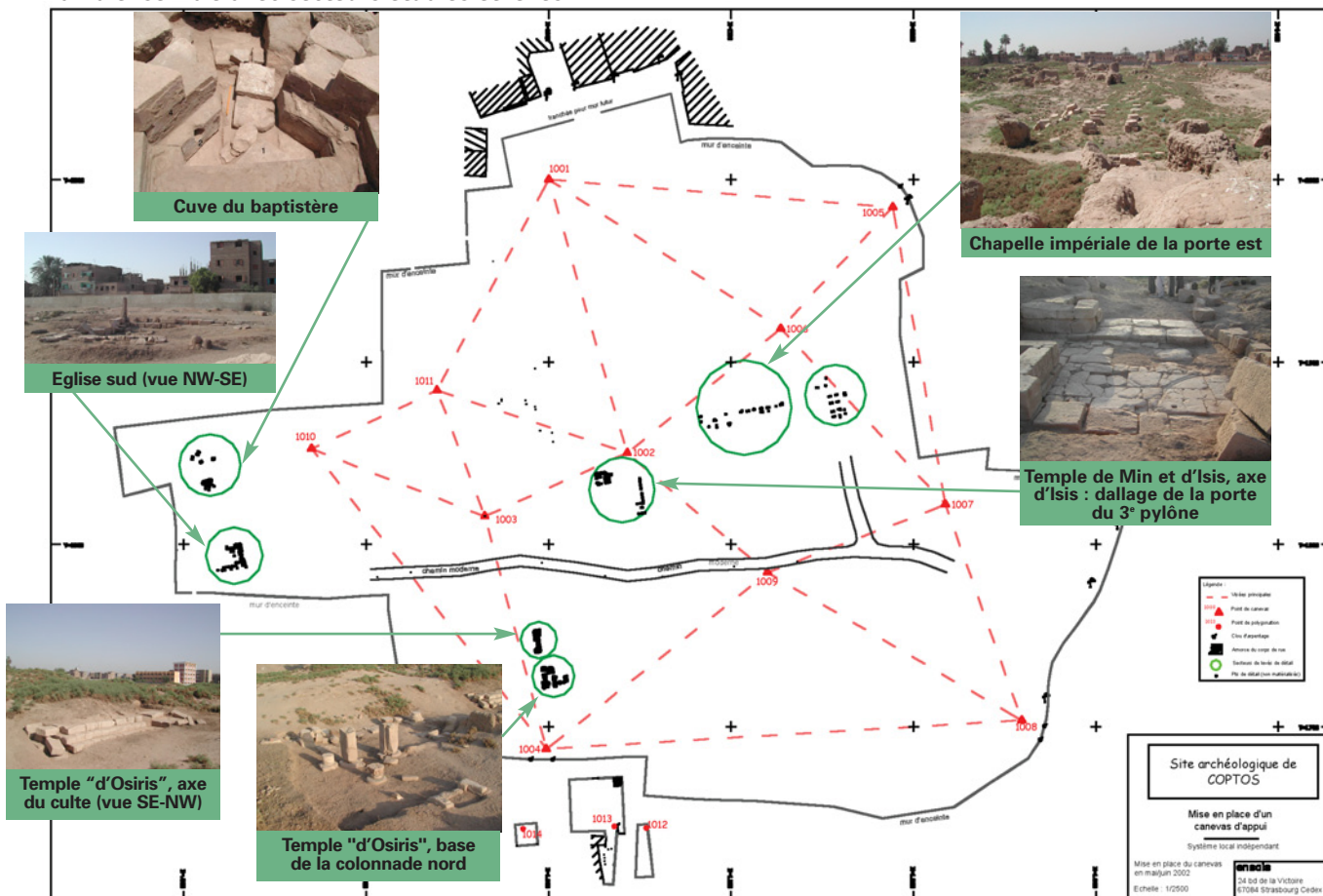
Photo de groupe de l'équipe française

Le rôle des topographes lors des prochaines aventures consistera à réaliser un levé complet des éléments qui seront dégagés lors des fouilles et de réaliser, à plus ou moins long terme, un système d'information archéologique unique pour Coptos... aventure à suivre. ●

ABSTRACT

The topographic campaign in Coptos (Egypt) consisted in setting up a network of points on the whole archaeological site covering an area of 400 by 500 metres. After terrain recognition and localisation of future excavation zones, eleven points were distributed over the site in order to achieve a regular network easy to use for further surveys. Each ground point was stationed and observed by multiple angle measurements and was calculated through a least square adjustment. The final co-ordinates were provided in a local independent system directed roughly to the North. The resulting accuracy has been very satisfactory according to the required precision. Indeed, the adjusted co-ordinates were provided with a standard deviation lower than 1 cm in X, Y and Z. During the next missions, the role of the surveyors will consist in realising a complete survey of the excavated elements of the site in the perspective of building an archaeological information system for Coptos.

Plan d'ensemble avec secteurs étudiés et levés





Pêche traditionnelle le long des côtes béninoises

Le port de Cotonou vu depuis le toit de la vigie

le couple GPS-écho sondeur au pays des pirogues

■ David LARROZE ingénieur ESGT

En étant élève en troisième année de l'école supérieure des géomètres Topographes du Mans, on voit se profiler la finalité du cursus : Le mémoire d'ingénieur. Pour être sur de voir ce dernier profiter à quelqu'un il n'y a rien de plus prometteur que l'Afrique comme lieu de stage. Sous le couvert de l'association Géomètres sans Frontières et sous le toit de M. Constantin Bah géomètre béninois maintenant très connu en Occident, le port autonome de Cotonou demande un étudiant afin d'installer une chaîne de traitement bathymétrique dans le but de proposer par la suite une solution à l'aménagement de la plage à l'ouest de ce dernier.

L'accueil du service technique du port est splendide et encourageant. Tout le monde est à l'affût du nouveau stagiaire pour se présenter et proposer ses services. Mon travail n'est pas commencé que tout le monde le voit fini et couronné d'un succès total. Le tableau est cependant plus noir en ce qui concerne le travail en lui-même. En effet il s'avère que le matériel de sondage n'est pas complet. Le port a occulté cet aspect handicapant. Cependant ceci est dû à une défaillance occidentale dans la mesure où à la suite de la faillite d'une société française l'assistance technique et les clés de logiciels n'ont pas été livrées. Le matériel est entreposé dans des cartons depuis quatre années. Nombre de ports souhaiteraient posséder un tel équipement et à Cotonou il gît tel une bouteille millésimée dans une cave. La situation est objectivement désastreuse mais le problème paraît a priori aisément solvable. Ceci était sans compter l'ambiance actuelle africaine où le temps ne paraît pas compter et où les relations hiérarchiques suivent des circuits inconnus en France... ; En effet après quatre mois le matériel n'a pas pu s'avérer fonctionnel tant la volonté de le mettre en service s'enlisait dans les tracasseries administratives. Cependant le GPS a été remis en route grâce à la participation active de Thalès Navigation qui nous a fourni un nouveau calendrier des éphémérides et la bonne volonté de Calice, employé au port, qui m'a aidé à dérober des batteries pour les monter quotidiennement au sommet de la vigie. Bien heureusement pour le dos de mon ami, elles ont été vidées au bout de quelques jours sans possibilité de se procurer un chargeur. Parallèlement une simulation dans les locaux du port a permis au staff technique de comprendre le fonctionnement du matériel. La

patience est alors de rigueur car ne sachant pas comment fonctionne un distomètre ils renouvellent les mesures à l'infini pour savoir si ça marche à tout instant et sous toute inclinaison. Une fois cette étape passée, vous êtes vu comme grand ami car vous leur donnez le moyen de faire des choses qui aux yeux de tous relève de la "sorcellerie".

Ainsi il est apparu que le problème inhérent en Afrique n'est pas toujours l'argent mais aussi les connaissances techniques. En effet le port possède les finances suffisantes pour supporter un dragage annuel durant quelques années et acheter par la même occasion une nouvelle vedette de remorquage équipée d'un dispositif intégré de sondage. Ces travaux confiés à une entreprise extérieure nous ont permis de connaître deux topographes hollandais de l'une des deux plus grandes sociétés de dragage de Hollande : HAM International. Très ouverts et disposant de beaucoup de temps (passé, souvent, à attendre les services portuaires) ils nous ont expliqué les différents secteurs d'une chaîne de sondage et de traitement bathymétrique.

Au final mon mémoire a été couronné de succès, et mon séjour au port certainement une aubaine pour les services portuaires. Cependant ce travail de fin d'études n'a amené que des idées et conforté des façons de faire locales. Aucun plan n'a vu le jour et aucun plan n'aurait pu le voir dans la mesure où finalement seule une entreprise occidentale dotée des pleins pouvoirs a pu réaliser une opération d'envergure. Le port de Cotonou apparaît pourtant en avance tant logistiquement que technologiquement, en comparaison de ce que nous avons pu connaître ailleurs au Bénin ; les compétences techniques de nos "élèves" africains de l'E.S.I.G.T. risqueraient cependant d'être particulièrement mal employées sans une amélioration de la gestion des services portuaires. Le port de Cotonou, pilier de l'économie autochtone, m'apparaît donc fragile et tributaire de l'occident. ●

Il reste quelques cours du programme de 3^e année à assurer :

- 1) **Géodésie** (coordonnées dans les SIG-représentations-introduction de données dans les SIG) - Travaux dirigés par utilisation de MAPINFO et SKI
- 2) **Système d'information géographique** (conduite de projet-conceptualisation-organisation)
Travaux dirigés par développement d'applicatif simple, échange de données. Un suivi depuis la France d'un projet géomatique mené par les étudiants, d'environ 100 heures de travail pour les étudiants. Chacun de ces enseignements nécessiterait de passer une à deux semaines à Cotonou et serait à effectuer d'ici la fin février. Alors, Noël sous les Tropiques ? Pas sans G.S.F !!

Site Internet de l'AFT nouvelle formule : <http://www.aftopo.org/>



■ Tania NEUSCH

Depuis quelques jours, le site Internet de l'AFT a été "relooké" en respectant des critères essentiels que sont la simplicité, la convivialité et le dynamisme. La simplicité prend effet dès le nom du domaine puisque vous trouverez dorénavant notre site Internet sous <http://www.aftopo.org/>

Vous retiendrez ce nom de domaine en pensant à l'association française de **topographie**, organisation associative. Vous pouvez y adhérer à tout moment en envoyant dorénavant vos messages à **info@aftopo.org**, nouvelle adresse électronique du secrétariat de l'AFT.

La **convivialité** se traduit par un esthétisme agréable, simple et clair, rappelant les couleurs principales du logo de l'AFT tout en conservant une sobriété

esthétique essentielle pour une navigation efficace.

Tous les trimestres vous trouverez, sur la page d'accueil du site, la couverture et le lien vers le sommaire de la dernière revue XYZ parue. La présentation du sommaire de la revue respecte la maquette graphique de la revue papier, ce qui permet au lecteur de se laisser tenter par le contenu et de la commander sans plus tarder !

Une bannière défilant sur la page d'ac-



cueil vous informera des dernières nouveautés de l'association (congrès, événements, manifestations) ou messages importants (offre d'emploi urgente, nouveaux produits de nos annonceurs, message publicitaire).

La page d'accueil présente également un lien vers les conditions de participation au prix de l'AFT. Cette année, deux jeunes diplômés se sont partagé 1 500 € ! Avis aux futurs ou jeunes diplômés : pensez à soumettre un résumé de votre projet ou travail de fin d'études au comité de lecture de l'AFT, peut-être sera-t-il récompensé.

Toujours dans l'optique de la convivialité, la navigation est rendue plus facile par le biais d'accès multiples aux mêmes rubriques. En effet, dès la page d'accueil, vous pourrez accéder aux différentes rubriques du site (actualités, activités, publications, XYZ, etc.).

Vous avez réussi à vous égarer ? Pensez AFT ! Un clic sur le logo de l'AFT permet de retourner à tout moment à la page d'accueil !

Le dynamisme d'un site est corrélé à sa vie. Régulièrement nous vous informons des actualités et publications de l'AFT, nous mettons en ligne toutes vos offres d'emploi. Si vous êtes adhérent, nous insérons vos demandes d'emploi ou de stage. Une rubrique "Liens" est consacrée aux diverses annonces publicitaires, aux entreprises désirant insérer

un lien vers leur site, aux prestataires de service, etc.

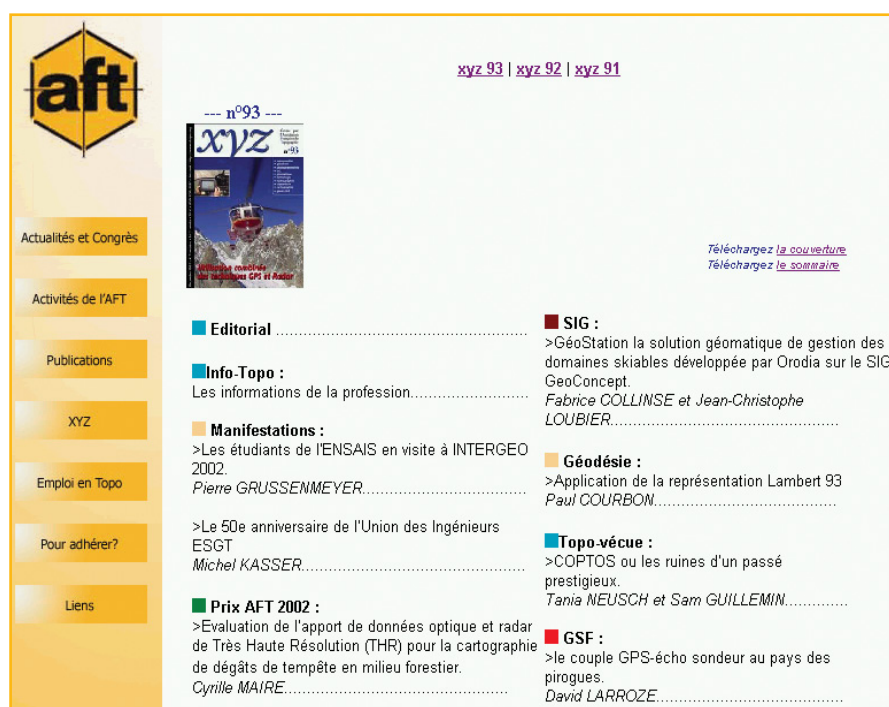
Le site ne cessera de se développer et s'accompagnera bientôt d'une base de données dans laquelle vous pourrez consulter les articles importants de toutes les revues XYZ depuis le premier numéro !

La conception graphique du site a été réalisée par Yannick Previdente que nous remercions vivement. Sa créativité a apporté un visage nouveau à

notre site, qui se veut être une vitrine de nos activités.

Pour finir, nous vous rappelons que vous pouvez adhérer à l'AFT à tout moment et devenir un membre actif de notre association. N'hésitez pas à nous rejoindre !

Nous espérons que ce site répondra à vos attentes, et nous nous réjouissons de vos suggestions ou remarques à ce sujet. ●



Marcel-Petit : La

■ Jean-Pierre MAILLARD

La Faisanderie de la forêt de Sénart est un remarquable rendez-vous de chasse du XVIII^e siècle construit par Jean-François Chalgrin, architecte de Louis XVI et de son frère le comte de Provence.

Le maître d'œuvre est surtout connu pour avoir, sous Napoléon, établi le projet de l'arc de triomphe de la place de l'Etoile à Paris qui, à l'évidence, s'inspire de son étude des monuments antiques d'Italie effectuée dans sa jeunesse.



© Yvette Velay

C'est le comte de Provence, duc de Brunoy, qui lui a commandé ce beau pavillon lové dans une clairière de l'espace boisé située sur la commune d'Etiolles. La demeure reste le seul témoignage des pratiques cynégétiques de cette époque, la fin de la construction des bâtiments étant intervenue en 1778.

Aujourd'hui, la Faisanderie est une vitrine de l'Office national des forêts (ONF). Elle comprend un espace documentaire destiné à faire mieux connaître la forêt, sa faune, sa flore, ses dimensions écologique et économique ainsi qu'un centre d'éducation à l'environnement ouvert aux classes primaires du département de l'Essonne et autres. Mais la Faisanderie c'est aussi un Parc des sculptures représentatif de l'expression artistique des années 1970.

Cet espace d'art contemporain, voulu comme un pendant champêtre du centre Pompidou a été réalisé entre 1971 et 1973 grâce à trois symposiums qui a rassemblé un total de dix-neuf artistes. Le cahier des charges prévoyait un travail *in situ*, une concertation entre les intervenants sur la localisation des pièces et, à titre principal, l'insertion des celles-ci au milieu naturel.

Cette initiative s'inscrit dans le mouvement d'interventions plastiques et d'investissement culturel en plein air tels le Beeldenpark de la fondation Kröller-Müller aux Pays-Bas et, plus près de la Faisanderie, toujours dans l'Essonne et en forêt, l'érection du Cyclop de Jean Tinguely à Milly.

Dualité V

L'œuvre de Marcel-Petit s'impose par sa force et son équilibre. Dénommée "Dualité V" elle a été exécutée dans la pierre de Bourgogne, de l'anstrude de l'Auxois pour être précis, et s'élève à 4,05 m de hauteur.

Pierre médiatrice

La sculpture se présente sous la forme d'un anneau irrégulier rehaussé de deux volumes parallélépipédiques qui font penser à une bague, sorte d'alliance entre la Terre et le Ciel. Comme les arbres avoisinants, la pierre solidement ancrée au sol semble se nourrir de son enracinement. En son centre, une ouverture, fenêtre ouverte sur la forêt, appelle un regard horizontal vers la nature au deuxième plan. Ainsi, grâce à la sculpture et au vide qu'elle révèle la nature est perçue à son tour comme une œuvre dans l'œuvre.

Dualité V a été réalisée au cours de l'été 1972. Marcel-Petit indique que la maquette est née en quelques minutes. En détaillant le résultat, on pourrait penser, au contraire, qu'il procède d'une étude géométrique, d'une épure de dessin industriel avec ses cotes, ses centres, ses rayons de courbure tant toutes les lignes sont aussi pures que des courbes mathématiques. Voilà une intuition artistique qui rend l'auteur capable, sur l'instant, de trouver l'harmonie et la beauté pendant que d'autres mettront des jours et des jours à concevoir par la science et le calcul, sans accéder à l'indicible qui fait l'œuvre d'art.

Au delà de cette rigueur, Marcel-Petit pense que son intervention à la Faisanderie a ouvert "sur le bonheur d'être entre sculpteurs, d'échanger des idées et des services pendant de

longues semaines, de connaître le réconfort de la présence des autres après tout ce temps de solitude dans l'atelier. Aujourd'hui, quand je la revois, c'est cette présence des autres qui me revient à l'esprit, mêlée à celle des visiteurs du parc, on peut dire beaucoup de choses sur la sculpture, mais disons au moins pour commencer, que « sculpter c'est créer un lien », c'est tenter une médiation. Les données de l'équation qui nous est posée change sans cesse. Il s'ensuit que la nécessité d'une médiation est constante, toujours à refaire... ».

Marcel-Petit

Marcel-Petit est né en 1926 à Gardanne dans les Bouches-du-Rhône et a reçu une formation artistique à l'école des beaux-arts d'Aix-en-Provence. Son parcours est marqué par un séjour de deux ans outre-Manche où il subit l'influence décisive de la sculpture anglaise notamment celle d'Henry Moore. De même sa rencontre avec les carriers sur leur lieu de travail a été déterminante à tel point qu'il n'hésite pas à parler de sa carrière dans les deux sens du terme. Après avoir beaucoup travaillé à Belleville à Paris, il est désormais installé, maison et atelier, à Verrières-le-Buisson plaisante ville, là encore, en Essonne.

Il travaille sur l'opposition entre le poli et le brut, entre les formes molles et les formes dures et cela le conduit à des

empilements de volumes géométriques qui en génèrent d'autres. Sa recherche est tournée vers la simplicité, celle qui voisine avec la pauvreté et, *in fine*, trouve l'essentiel. Dans ce souci de perfection il est moins précieux que Brancusi pour garder, dit-il, la force du matériau qu'il soit marbre, lave, basalte, granite d'Afrique ou de Lanhelin, serpentine ou béton.

Ses œuvres monumentales sont présentes en France (dans l'église de Treignac en Corrèze, à l'école d'artillerie de Draguignan, à Epinay-sur-Seine,...) et aussi à l'étranger, en particulier en Suède et en Inde. Il semble qu'elles soient mieux entretenues que celles du parc des sculptures de la Faisanderie et sur ce point une intervention de sauvegarde doit être entreprise au plus tôt. Cela renouvellera l'attractivité du lieu et aiguïsera le plaisir d'un ballade en forêt ponctuée d'une visite culturelle. En attendant l'artiste peut se rassurer car Dualité V malgré les traces de pollution dégage toujours une attirance : la marque du travail réussi.

Laissons à Marcel-Petit le soin de conclure :

*"Bloc près de moi,
Mon rêve n'est pas de t'amincir mais
de me connaître
Je ne suis que traversé par la sculpture"* ●

N.B. : Il n'échappera pas aux lecteurs d'XYZ que le parcours du parc des sculptures est agrémenté d'appareils pédagogiques installés par l'ONF pour expliquer aux scolaires des moyens de mesurer la hauteur des arbres et leurs diamètres. Sur le décimètre en rondins, on comprend tout suite l'application du théorème de Thalès par l'utilisation d'une équerre isocèle ! Comme on voit outre l'attrait des bois, celui de la création contemporaine, la Faisanderie offre aussi aux topographes un troisième centre d'intérêt.

La sculpture se présente sous la forme d'un anneau irrégulier rehaussé de deux volumes parallélépipédiques qui font penser à une bague, sorte d'alliance entre la Terre et le Ciel.



© Yvette Velay