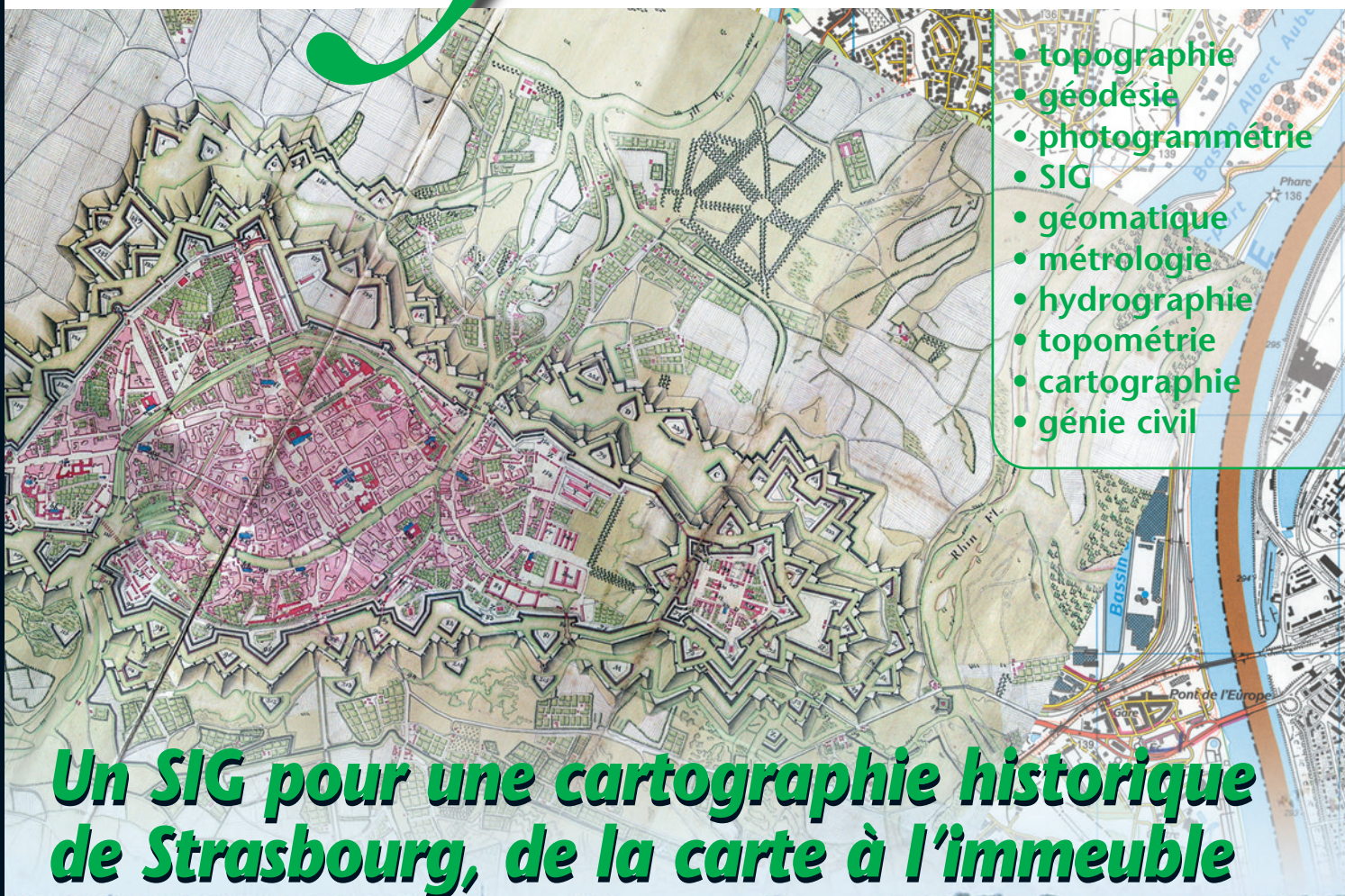


xvz

Éditée par
l'Association
Française de
Topographie
n°92



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

***Un SIG pour une cartographie historique
de Strasbourg, de la carte à l'immeuble***



***Le SIG du Parc naturel régional
des Vosges du Nord, un outil au service
du développement durable***

Directeur de la publication

André Bailly
Ingénieur Géomètre ETP

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

Comité de Rédaction

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

Responsable du site internet

Tania Neusch

Conseil d'orientation scientifique

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

Publicité

Maurice Maletas

Conception et maquette

Dorothee Picard

Abonnements

Evelyne Mesnis

Autre publication

L'annuaire de l'AFT

IMPRIMERIE MODERNE USHA

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

Dépôt légal

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. 63

Membre du SPCS Syndicat de la Presse
Culturelle et Scientifique

L'AFT n'est pas responsable des opinions
émises dans les conférences qu'elle
organise ou les articles qu'elle publie.

Tous droits de reproduction ou d'adaptation
strictement réservés.

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

Membre de la FIG (Fédération Internationale des Géomètres) 

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

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

■ Editorial 5**■ Info-Topo****> Les informations de la profession 7****■ Manifestations****> L'AFT au 36^e Congrès National des Géomètres-Experts à Lyon les 19, 20 et 21 Juin 2002.**

"Dire la Propriété".

Dominique VINOT 14

> Commémoration du 500^e anniversaire de la naissance de Pedro Nunes.

Raymond D'HOLLANDER 15

■ FIG 17**■ Techniques nouvelles 19****> Une technologie de pointe au service de l'héritage culturel maltais.**

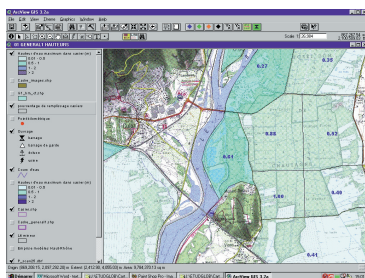
Thierry Hatt 21

■ SIG**> Un système d'information géographique pour une cartographie historique de Strasbourg, de la carte à l'immeuble.**

Thierry Hatt 21

**> Le SIG du Parc naturel régional des Vosges du Nord, un outil au service du développement durable.**

Olivier Reis 25

**> Les outils cartographiques et SIG développés dans le cadre des études hydrauliques à la compagnie nationale du Rhône.**

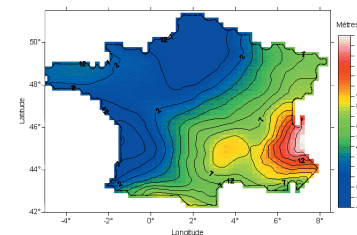
Michel GARCIA 33

**> La mouche tsé-tsé sous haute surveillance.**

Dominique Laffly & Jean-Pierre Hervouët 39

■ GPS**> Nouvelle précision des récepteurs GPS de poche.**

Paul COURBON 48

■ Géodésie**> Influence de la déviation de la verticale sur les travaux topographiques réalisés dans le système RGF93.**

Ludovic ANDRES 52

> Passage d'un système géodésique à un autre.

André Fontaine 60

■ GSF**> L'Afrique est bonne hotesse.**

Paul COURBON 63

**■ Art et Géométrie****> Centre Pompidou : Buren et sa bande.**

Jean-Pierre MAILLARD 66

■ Livres 68

Pour la recherche de nos annonceurs
consulter la page 69.

INVITATION

C'est un événement historique : la FIG a 125 ans et vient le fêter sur les lieux de ses origines.

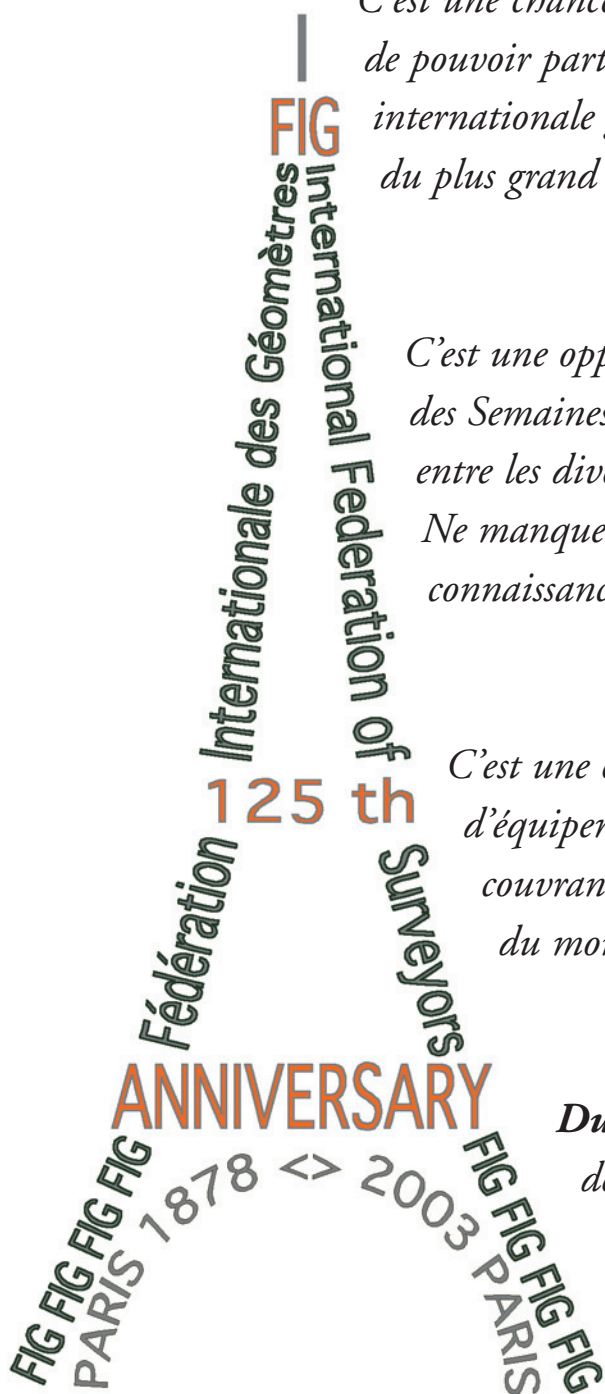
C'est une chance, pour ceux qui n'en sont guère familiers, de pouvoir participer plus facilement à une rencontre internationale grâce à la traduction simultanée – au bénéfice du plus grand nombre possible de participants nationaux.

C'est une opportunité rare : le processus électif du choix des hôtes des Semaines Professionnelles annuelles fait que la roue tourne entre les divers pays membres, et elle ne repassera pas de si tôt... Ne manquez pas d'y participer ! Venez enrichir vos connaissances et nouer des contacts internationaux.

C'est une occasion exceptionnelle pour les sociétés d'équipements et de services de participer à une exposition couvrant à la fois les clientèles AFT et OGE ... et le reste du monde pour celles ayant des ambitions à l'export.

Du 13 au 17 avril 2003, venez montrer et démontrer que les géomètres français ne sont pas des timorés des relations internationales.

André Bailly et Michel Mayoud



Commémoration du 500^e anniversaire de la naissance de Pedro Nunes

Le Portugal célèbre en 2002 le 500^e anniversaire de la naissance du grand mathématicien cosmographe Pedro Nunes (Petrus Nonius). A cette occasion, le président du département de mathématiques de la faculté des sciences de l'université de Lisbonne a organisé une "conférence internationale" les 24 et 25 mai à Lisbonne et à Coimbra, où il a invité notre collègue Raymond D'Hollander à exposer ses recherches sur la théorie de la loxodromie de Pedro Nunes. Le programme de cette conférence, imprimé sur des reproductions de pages de livres anciens, figure ci-dessous.



La "rosace" du programme de la conférence comporte les premiers tracés de loxodromie exécutés en 1537 par Pedro Nunes dans une projection polaire équidistante. De chacun de quatre points également espacés sur l'équateur

(circonférence extérieure) partent quatre loxodromies d'azimut $\pm 67^{\circ}30'$ et $\pm 45^{\circ}$.

Nous reproduisons ci-après le sommaire de la communication fait par l'auteur à Lisbonne.

La théorie de la loxodromie de Pedro Nunes (Petrus Nonius)

Sommaire de la communication de Raymond D'HOLLANDER ingénieur général géographe

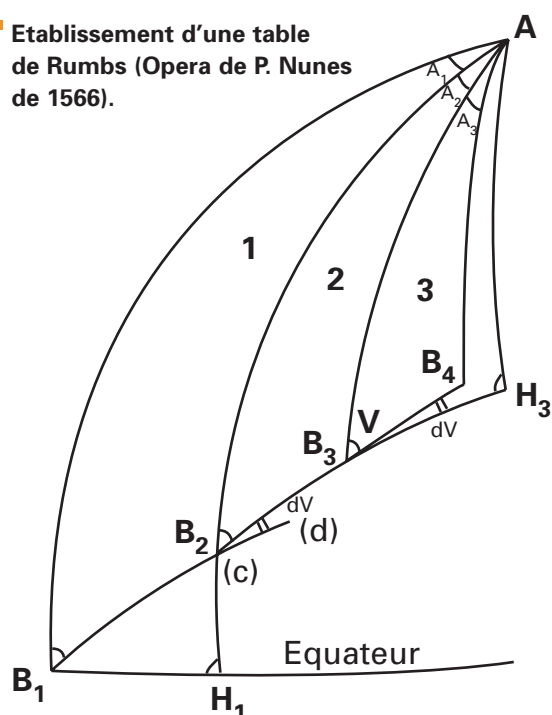
Dans deux traités publiés au Portugal en 1537 Pedro Nunes est le premier cosmographe à avoir nettement distingué, en navigation maritime, pour parcourir la distance séparant deux points du globe terrestre supposé sphérique :

- le trajet **loxodromique** consistant à naviguer à cap constant, l'azimut de la loxodromie, désigné par V , étant appelé aussi l'angle de route,
- le trajet **orthodromique**, trajet le plus court par arc de grand

cercle, nécessitant des changements constants de l'angle de route.

Le terme **loxodromie** fut introduit après Pedro Nunes ; à son époque on employait le mot *rumb* ou *rhumb* pour désigner les 32 rayons du disque du compas écartés de $360^{\circ} : 32 = 11^{\circ}15'$. Les 7 rumb du premier quadrant ont donc respectivement pour azimuts : $11^{\circ}15'$, $22^{\circ}30'$, $33^{\circ}45'$, 45° , $56^{\circ}15'$, $67^{\circ}30'$, $78^{\circ}45'$, le 8^e rumb correspondant à la direction du parallèle.

■ ■ ■ Etablissement d'une table de Rumbs (Opera de P. Nunes de 1566).



Rumb d'azimut V assimilé à une succession d'arcs de grands cercles élémentaires $\widehat{B_1B_2}$, $\widehat{B_2B_3}$, $\widehat{B_3B_4}$...

Le rumb est issu du point B_1 , de l'équateur avec l'azimut V.

L'arc $\widehat{B_1B_2}$ a en B_1 l'azimut V et se termine en B_2 où il a l'azimut $V + dV$, l'arc $\widehat{B_2B_3}$ a en B_2 l'azimut V et se termine en B_3 où il a l'azimut $V + dV$, etc... Pedro Nunes préconise d'adopter $dV = 1^\circ$.

A est le pôle terrestre; $\widehat{AB_1}$, $\widehat{AB_2}$, $\widehat{AB_3}$... sont les méridiens de B_1 , B_2 , B_3 ... ; $\widehat{AB_1} = 90^\circ$; H_1 est le point où le méridien $\widehat{AB_2}$ rencontre l'équateur ; H_3 est le point où l'arc de grand cercle passant par A, perpendiculaire à l'arc de grand cercle $\widehat{B_2B_3}$ rencontre $\widehat{B_2B_3}$ prolongé. (point H_2 non figuré)

\hat{A}_1 , \hat{A}_2 , \hat{A}_3 , ... sont les différences de longitude successives entre B_1 , B_2 , B_3 ...

En 1566 dans le livre II des *Petri Nonii Salaciensis Opera*, publié à Bâle, que nous abrégons en *Opera*, Pedro Nunes reprend les éléments de ses publications de 1537 considérablement augmentés et il y indique le mode de calcul d'une table de rumb.

Ayant décomposé le rumb d'azimut V passant par le point B_1 de l'équateur en arcs de grand cercle élémentaires $\widehat{B_1B_2}$, $\widehat{B_2B_3}$, $\widehat{B_3B_4}$... définis en dessous de la figure, Pedro Nunes résout les triangles sphériques $A B_1 B_2$, $A B_2 B_3$, $A B_3 B_4$, le triangle sphérique rectangle $A B_1 H_1$, et les triangles sphériques rectangles tels que $A B_3 H_3$. Il obtient ainsi :

- 1) les longueurs d'arcs de méridien $\widehat{AB_2}$, $\widehat{AB_3}$... qui sont les colatitudes de B_2 , B_3 ... d'où l'on déduit facilement les latitudes de B_2 , B_3 ...
- 2) les longueurs des trajets $\widehat{B_1B_2}$, $\widehat{B_2B_3}$, $\widehat{B_3B_4}$...

3) les valeurs des angles \hat{A}_1 , \hat{A}_2 , \hat{A}_3 ... d'où les longitudes de B_2 , B_3 , B_4 à partir du point B_1

La table de rumb doit donc comporter 3 colonnes indiquant les valeurs 1, 2, 3 ci-dessus, mais la table des rumb des *Opera* est vide, Pedro Nunes s'en remettant à des "adolescents studieux" pour effectuer les calculs nécessaires et remplir les colonnes vides. Il ne semble pas que ce vœu de Pedro Nunes ait été exaucé. Nous nous sommes substitués à l'un des adolescents de Nunes et effectué pour les 7 rumb les calculs selon la méthode qu'il préconise avec $dV = 1^\circ$. Pour les longitudes $\lambda = \sum \hat{A}_i$ des différents points des rumb nous avons comparé la latitude φ_N calculée par la méthode de Nunes à la latitude φ_L calculée à partir de l'équation rigoureuse de la loxodromie. Les calculs ont été poussés jusqu'à mettre en évidence pour chaque rumb la différence maximale : $e_m = \varphi_N - \varphi_L$. Les écarts sont faibles de sorte que la table de rumb ainsi calculée aurait eu une précision suffisante pour les besoins de la navigation à voile de l'époque, mais on aurait pu faire plus précis en prenant par exemple $dV = 10'$

La voie ainsi tracée par Pedro Nunes préfigure les méthodes de calcul infinitésimal qui verront le jour en 1676 avec Leibniz, donc 110 ans plus tard que l'édition des *Opera*.

La méthode de Pedro Nunes n'a pas été comprise par ses contemporains et considérée comme fausse en 1608 par le mathématicien et ingénieur flamand Simon Stevin ; en 1915 l'historien des sciences allemand Hermann Wagner reprit cette accusation non fondée ; un mathématicien français a répété récemment la même accusation dans une publication sur l'histoire de la loxodromie au XVI^e siècle, mais après avoir eu connaissance des travaux de Raymond D'Hollander, il a regretté d'avoir "perpétué le commentaire erroné de S. Stevin".

Nous indiquons dans notre communication comment Pedro Nunes concevait le tracé des rumb sur un globe terrestre ; nous faisons une brève énumération des différentes phases de l'élaboration de la théorie de la loxodromie et du calcul des tables de rumb après Pedro Nunes. L'équation rigoureuse de la loxodromie n'a été établie qu'en 1695 par Edmund Halley, donc 158 ans après la première définition par Pedro Nunes.

La communication se termine par des remerciements au professeur W. L. Randles, qui nous a aiguillé vers cette étude de la théorie de la loxodromie de Pedro Nunes et à l'historien des sciences Albuquerque qui a fait publier en 1990 au Portugal nos recherches sur ce sujet.

C'est cette publication dans le n°1 de la revue portugaise "Mare liberum" qui a permis de faire connaître les recherches de Raymond D'Hollander aux scientifiques portugais, qui lui sont reconnaissants d'avoir réhabilité une partie de l'œuvre du grand savant portugais Pedro Nunes.

Les lecteurs de XYZ qui souhaiteraient recevoir la communication tout entière (26 pages) pourront l'obtenir au secrétariat de l'AFT en adressant un chèque de 5 euros pour les frais d'envoi. ●



PARIS 1878-2003 125th ANNIVERSARY

FIG WORKING WEEK
13 - 17 April 2003
PARIS

SEMAINE PROFESSIONNELLE
13 - 17 avril 2003
PARIS



Convenors / Organisateurs :
Ordre des Géomètres-Experts & Association Française de Topographie

La France est l'un des sept pays fondateurs de la Fédération internationale des géomètres (FIG) créée en 1878 sur l'initiative du Comité central des géomètres de France.

La FIG représente aujourd'hui 88 associations membres venant de 75 pays de tous les continents.

C'est une organisation internationale non gouvernementale dont l'objet est d'organiser des rencontres scientifiques et techniques et de soutenir la collaboration internationale pour promouvoir la profession de géomètre, la formation professionnelle et aider au développement des pays émergents.

La FIG organise tous les quatre ans des congrès internationaux dont le dernier en date s'est tenu à Washington du 22 au 27 avril 2002 et le prochain se déroulera à Munich en octobre 2006. Entre temps, des semaines annuelles de travail "working week" sont organisées, qui permettent de combiner des réunions d'administration de la FIG, des séminaires techniques organisés par les commissions et une exposition de dimension internationale. La dernière semaine de travail en date a eu lieu à Séoul du 7 au 11 mai 2001, les prochaines sont programmées à Athènes en mai 2004, au Caire en avril/mai 2005 et à Hong Kong en 2007.

S'agissant de l'année 2003, Israël avait été élu pour accueillir la "working week" dans la ville d'Eilat. Ce choix n'a pu être maintenu en raison des problèmes actuels de sécurité dans la région et a été reporté à la première date non encore votée – soit 2009. Dans ce contexte, la France a donné fin mai son ■■■

- ■ ■ accord pour accueillir la manifestation 2003 à Paris, qui marquera en outre le 125^e anniversaire de la FIG sur les lieux mêmes de sa création.

La charge de l'organisation revient au Comité Français de Représentation à la FIG (CFR-FIG), association des deux membres adhérents à la FIG, l'AFT et l'OGE. Sur l'initiative des deux organismes concernés et de leurs présidents respectifs, André Bailly et André Radier, un Comité Directeur (Bernard Bour, Président, Michel Kasser et Michel Mayoud) et un Comité d'Organisation élargi ont été formés.

Une telle manifestation en France sera aussi l'occasion de réaffirmer la politique de diversité culturelle et d'ouvrir davantage cette manifestation à la francophonie. Il faut rappeler en effet que le CFR-FIG est à l'origine de l'avènement, en 1998, du Groupe Francophone de la FIG. Un dispositif de traduction sera mis en place pour les principales sessions de la rencontre.

Les délais de décision et d'organisation étant très courts, il n'a pas été possible de trouver un lieu de manifestation permettant d'accueillir 600 à 800 personnes qui soit encore libre (et financièrement abordable) à Paris même. Finalement, sur proposition de Michel Kasser et de l'IGN, l'Ecole Nationale des Sciences Géographiques (ENSG) à Marne-la-Vallée mettra ses locaux à disposition de la manifestation durant la semaine de congés scolaires, du 13 au 17 avril 2003, offrant à la fois les salles, les amphithéâtres et l'espace exposition nécessaires, dans un cadre architectural original offrant toutes les commodités utiles pour de telles rencontres.



ENSG : vue générale

Cette manifestation exceptionnelle sera agrémentée d'une séance d'ouverture, de réceptions et d'un banquet qui seront à la hauteur des traditions d'accueil et de convivialité de notre pays. Toutes facilités de transport (y compris depuis les nombreux hôtels proches) seront en outre offertes pour simplifier les regroupements et déplacements.

Réservez absolument votre disponibilité du 14 au 16 avril – la semaine avant Pâques – pour les sessions scientifiques et techniques, ainsi que pour la grande exposition de matériels et services.

Venez faire connaissance de collègues venant de 75 pays différents, partagez des expériences riches et variées dans tous les domaines professionnels : l'information géographique, le

foncier, l'urbanisme, le bâtiment, l'immobilier, le logement, les travaux publics, les grandes infrastructures, l'industrie, etc.

Constructeurs ou distributeurs d'instruments et d'équipement professionnel, prestataires de services, sociétés travaillant à l'export : participez à l'exposition. ●



Esplanade et entrée



Hall central et accès espace exposition

Une telle manifestation en France sera aussi l'occasion de réaffirmer la politique de diversité culturelle et d'ouvrir davantage cette manifestation à la francophonie. Il faut rappeler en effet que le CFR-FIG est

Une technologie de pointe au service de l'héritage culturel maltais

Les techniques récentes de numérisation laser 3D fournissent avec rapidité des mesures tridimensionnelles précises et très denses. En parallèle, de nouveaux logiciels donnent la possibilité de reconstruire les surfaces avec toutes leurs irrégularités et leurs couleurs de façon à obtenir un modèle virtuel au plus proche de la scène originale. Ces techniques sont actuellement de plus en plus employées dans le domaine du patrimoine et ceci a été le cas pour quelques sites sur l'archipel de MALTE dans le bassin Méditerranéen. L'histoire de ce Pays, souvent convoité et conquis, lui a laissé pour cicatrices de nombreux joyaux culturels dont des remparts, de superbes cathédrales, et des temples néolithiques.

Le centre de restauration de Malte, chargé d'assurer la connaissance, le diagnostic, la documentation de l'héritage culturel et de la préservation du patrimoine maltais d'un point de vue national et international, a été à la demande du Service Maltais de Documentation, désigné pour archiver différents sites stratégiques de l'île de Malte : un Autel du Musée de Valetta, la chapelle San Salvatore située à Kalkara et le Temple Ggantija dans l'île de Gozo.

Problématique

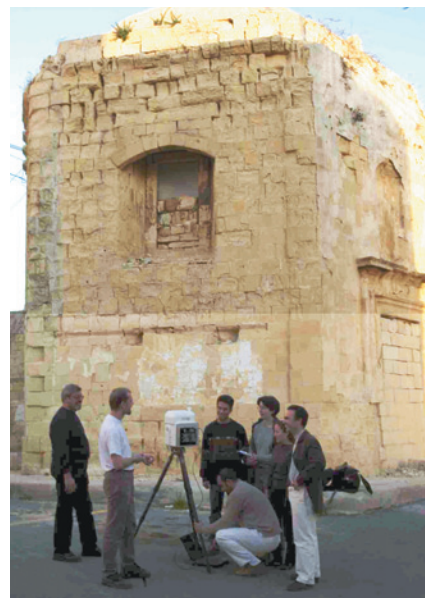
Ggantija est le plus imposant, le mieux conservé et le plus grand des temples préhistoriques de l'île de Gozo. L'ensemble comprend un temple méridional (3600 avant JC) composé de cinq absides et un temple septentrional, plus petit mais plus récent, formé de quatre absides, il mesure environ 10 mètres sur 20. L'objectif était d'obtenir le plus précisément des données permettant une étude fiable afin d'évaluer des hypothèses archéologiques, et en mesurer

l'usure, l'érosion... Un très haut niveau de détails était nécessaire afin de rester aussi fidèle que possible à la réalité sans quoi la validité des résultats ne pouvait être assurée. Situé à Valetta, le Musée national d'archéologie abrite aujourd'hui outre des collections d'étonnants objets néolithiques, un autel. La problématique était d'obtenir un rendu aussi fiable que possible de spirales particulièrement détériorées, situées autour de la base. Le relief de ces dernières oscille entre 5 mm et 1 mm et elle ne sont pratiquement pas visibles à l'œil nu.

La chapelle San Salvatore, construite vers 1487 en cours de restauration devait, elle aussi, faire l'objet d'une numérisation totale intérieure et extérieure, afin de permettre aux restaurateurs une étude précise des lieux grâce à une reconstruction 3D de cette dernière.

Procédé

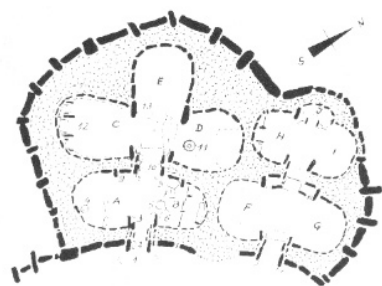
Le Centre de Restauration de Malte a utilisé la technologie MENSİ pour



Le GS100 de MENSİ devant la Chapelle San Salvatore

accomplir ces différents chantiers de grande envergure. Après avoir utilisé un scanner S25 pour le Temple de Ggantija et l'Autel situé au Musée de La Valette, La Chapelle San Salvatore a été numérisée grâce à un scanner GS100. Toutes les reconstructions ont été réalisées avec le logiciel 3Dispos. Cet traitement des points 3D provenant de n'importe quelle source d'acquisition afin de réaliser une modélisation. Son utilisation permet la reconstruction au plus près des points. Le scanner S25 est un scanner basé sur le principe de la triangulation laser plane complétée par un balayage cylindrique du volume. Développé par la société MENSİ avec l'appui financier d'EDF pour la simulation de maintenance nucléaire, ce scanner présente plusieurs avantages : appareil mobile et maniable, forte densité des points 3D relevés, précision des mesures, champs de saisie important, saisie d'images vidéo couleurs.

Le Scanner GS100 utilise le principe basé sur la technologie "Temps de Vol", GS100 calcule des coordonnées très précises par l'utilisation d'un large champ de vision et ce, tant en intérieur qu'en



Plan du temple Ggantija



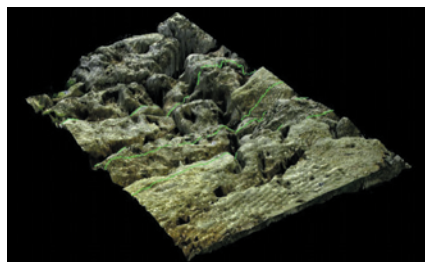
Autel situé au Musée de Valetta

■■■ extérieur. Il permet la détermination très précise de nuages de points sous forme de coordonnées XYZ, totalement adapté pour la numérisation de larges structures telles que des ponts, des tunnels, des bâtiments, des usines, des monuments... Simultanément à la caractérisation de formes géométriques le GS100 permet une reconnaissance rapide des données par l'intégration d'images couleur ou des scènes grâce à une caméra vidéo interne. Cette dernière, munie d'un zoom, donne accès à une corrélation point/couleur automatique.

Le Temple Ggantija : L'équipe a passé environ 25 heures sur le site de l'île de Gozo où se trouve le Temple. 12 points de vue (dont 4 raccords ne comportant que des sphères pour la consolidation) ont été réalisés soit une collecte totale de 2 500 000 points. L'utilisation d'autres outils afin de compléter les données prises par le S25 ont été utilisés (L'utilisation de différents outils de mesures et de logiciels ont permis d'obtenir une étude très précise de la roche (voir photo 5) et ont permis d'exploiter les données prises par le MENSIS25, dans le cadre de la documentation du site.

L'Autel du Musée de la Valette : L'autel date de 3600 à 3100 ans avant JC et a été retrouvé dans le temple Tarxien. D'une taille de 1 m 50 sur 1 m 60, il a nécessité une collecte de points de près de 2 600 000 sous 3 points de vue différents. Ce scanne a été effectué avec un MENSIS25, un travail d'environ 18 heures pour un résultat tout à fait exceptionnel qui va permettre à l'équipe d'étudier le relief de la spirale de façon beaucoup plus précise que directement sur la pierre.

La Chapelle San Salvatore : L'utilisation du GS100 était nécessaire de part la taille de la chapelle mais aussi pour permettre de scanner tant de l'intérieur que de l'extérieur. Seuls une niche ainsi qu'un bas



Etude de la pierre du temple de Ggantija



Texturage de l'autel

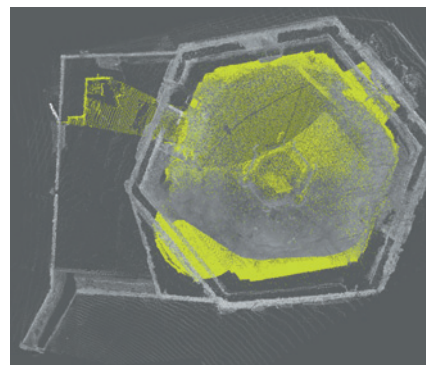
relief ont nécessité l'utilisation d'un scanner S25. Environ 6 heures de scanne, 8 points de vue en extérieur dont 3 pour le toit, 4 en intérieur. Un total de 3 500 000 points a donc été pris, 1 310 000 pour la chapelle et 2 200 000 points pour l'intérieur de cette dernière.

Conclusion

Tous ces projets réalisés et traités dans le logiciel de traitement de point 3Dispos permettent aujourd'hui au Centre de restauration de Malte de travailler sur les différentes phases de restauration de ces sites, examen de l'usure, d'érosion etc... Le Professeur Claude Borg, du Service Documentation du MCR nous a confié qu'il aurait été très difficile de faire l'étude de ces différents sites sans scanner laser. Il aurait fallu créer un nombre important d'orthophotos ou encore créer des modèles 3D à travers des outils photogrammétriques. De toute façon en considérant la finesse et la complexité de la texture des différentes surfaces, le résultat n'aurait pas été aussi précis.



Texturage des spirales



Vu extérieure de la Chapelle San Salvatore

L'utilisation de ce scanner a permis de réduire de moitié le temps passé sur site et d'environ 40 % le coût financier des ces projets. Cette technologie de pointe donne des espérances uniques aux activités de restauration du patrimoine culturel. L'application de la haute technologie avec le travail de restauration donne au MCR une nouvelle voie dans le domaine des études des sites historiques.

Le centre de restauration de Malta travaille sur un grand nombre de projets leur permettant de satisfaire leur vocation de conservation du patrimoine ainsi que d'enseignement via l'Institut d'étude de la Conservation et de la restauration. De nombreux projets font appel à ces nouvelles technologies, en effet l'utilisation de scanner laser 3D permet d'obtenir rapidement et sans risque de dégradation des sites une étude précise de ces derniers. Dans la même lignée, de grandes opérations de mécénat ont déjà eu lieu à travers des actions de mécénat dirigée par EDF, en 1998 la reconstruction virtuelle d'un géant de pierre "Ptolémée" a associé archéologie et technologie, tout comme la représentation, en images de synthèse 3D réalisée en 1994 de la grotte Cosquer située sous 37 m de fond dans les calanques du Cap Morgiou dans le sud de la France. ●

CONTACT

MENSIS SA

30 rue de la Fontaine du Vaisseau
94120 Fontenay sous Bois
Tél : 01.48.77.99 99
Fax : 01.48.77.99.98
EMail : info@mensi.com

CENTRE DE RESTAURATION DE MALTE

Bighi, Kalkara CSP 12, Malta
Tel: (356) 823290/2, 807675/6
Fax: (356) 674457



MENSIS S25 dans le temple Ggantija

Un système d'information géographique pour une cartographie historique de Strasbourg, de la carte à l'immeuble⁽¹⁾

■ Thierry HATT

Le travail présenté ici a deux objectifs liés : l'un scientifique l'autre pédagogique.

La première idée consiste à réaliser un SIG de nature historique qui superpose dans un même référentiel géographique un ensemble de cartes de la ville de Strasbourg couvrant la période la plus longue possible, concrètement de la fin du XVII^e au XXI^e siècle, de manière à mesurer les évolutions urbaines à toutes les échelles spatiales, de la carte d'ensemble à l'immeuble. Ce type de travail n'a jamais été fait pour Strasbourg. Le seul qui puisse lui être comparé est la vaste compilation de données archéologiques réalisée pour le compte du ministère de la culture par J. J. Schwien⁽²⁾ en 1992, elle est réalisée sur des calques et non pas sur support informatique.

La deuxième idée est pédagogique : comment impliquer des classes de second cycle dans l'utilisation de ces documents et réaliser avec eux une étude urbaine globale et de détail sur la totalité de la période ?

Un projet scientifique

■ Objectifs, partenaires et moyens

Il s'agit de créer un système d'information géographique historique comparatif du XVII^e au XXI^e siècle. La superposition des cartes historiques dans un tel système informatique est seule susceptible de permettre des comparaisons de qualité. L'efficacité de la comparaison de cartes superposables à la même échelle est sans commune mesure avec la comparaison simultanée de cartes posées les unes à côté des autres. Seul le SIG permet de réaliser une telle opération.

Ce projet a intéressé tous les partenaires consultés, en particulier ceux qui disposent des documents cartographiques sources. Ils ont mis à ma disposition les fonds cartographiques anciens : la Bibliothèque National Universitaire de Strasbourg (BNUS, 28 cartes), les Archives départementales (ADBR, 22 cartes) et municipales (AMS, 6 cartes) et le cabinet des Estampes des Musées de Strasbourg (20 cartes). Leur contribution est essentielle soit par des financements directs (Rectorat) soit par des financements indirects (dons de documents cartographiques récents, CUS⁽³⁾, cession gracieuse de droits, IGN⁽⁴⁾). L'opération prévue sur deux ans représente des frais

importants pour un lycée : le budget 2001-2002 est de 12 000 euros qui inclut les dépenses d'ordre pédagogique mais pas le prix du travail. Une bonne partie a été financée par les prix⁽⁵⁾ dont le projet a été lauréat.

■ Les sources documentaires, la question des droits de reproduction

Sources cartographiques

La numérisation des cartes anciennes de la BNUS, des AMS, des ADBR, aboutit à plus de 80 cartes, résultat de l'assemblage pour chaque carte d'une dizaine de sous-ensemble photographiques en moyenne. Beaucoup de cartes sont déjà connues mais certaines, comme celle de 1744⁽⁶⁾ n'ont jamais été

publiées en tout cas en couleurs. La plus ancienne que nous ayons traitée est datée de 1680, la voici avant et après géo-rectification sur le fond de 1980 (figure ci-dessous).

Sources photographiques anciennes et actuelles

Pour ce qui concerne l'échelle la plus fine, le bâtiment, nous avons procédé à la numérisation de photographies des plans relief⁽⁷⁾ de 1725 et 1836 disponibles à la DRAC⁽⁸⁾ et aux AMS ainsi qu'à la numérisation de photographies anciennes de la ville 1840-1910 issues des AMS et d'une collection privée de cartes postales anciennes et, pour assurer la comparaison avec la ville actuelle des photographies numériques de la ville en 2002⁽⁹⁾.



- La question des droits a été résolue par négociation directe avec les partenaires, BNUS, AMS, IGN, tous les droits d'utilisation en classe et de reproduction sur Internet ont été obtenus.

■ Les procédures

Nous avons souhaité, ne serait-ce que pour des raisons financières, pour des raisons de temps passé aussi, n'utiliser que des matériels grand public, numériseur à plat⁽¹⁰⁾, appareil photo bon marché. Nous avons mis au point une procédure, décrite en partie dans le schéma "Etapas d'élaboration des cartes géo-rectifiées".

Photographie et montage

Il est évidemment interdit de numériser à plat ces documents anciens aussi avons-nous photographié les cartes, de préférence en lumière naturelle, sur pied, avec appareil mis à niveau. Cette opération s'est révélée assez difficile, les documents sont rarement plats, or la photographie accentue les ombres, ils sont déformés ou déchirés, parfois entoilés par petites coupures créant des espaces qu'il faut combler ultérieurement par logiciel. Le remontage des images photographiques n'a été possible par logiciel automatique que très rarement. Il a donc fallu remonter "à la main" des centaines de photographies, près de 800, pour obtenir les cartes complètes. Un des grands intérêts de la photographie numérique est de pouvoir vérifier immédiatement le résultat sur place et donc de reprendre sans délai les photographies ratées, à condition bien sûr de disposer d'un ordinateur sur place pour transférer et traiter les images.

Géo-rectification

La recherche de repères communs

Pour réaliser la rectification, mise à l'échelle et mise au Nord, il faut des repères communs à la carte ancienne et à la carte moderne. Nous avons choisi comme carte de référence la carte IGN de 1980 car celles de 1997 et de 2000 ont des caractéristiques graphiques qui ne conviennent pas à notre travail. On remarque que ces repères communs pour les cartes les plus anciennes sont peu nombreux et exclusivement intra-urbains ; les églises offrent des repères sûrs, quelques voies telles que le fau-

ETAPES D'ELABORATION DES CARTES GEO RECTIFIEES

Photographie sur pied, avec appareil photographique numérique à niveau des cartes par morceaux avec recouvrement⁽¹⁷⁾, exemple d'une partie de la carte de 1744



Assemblage des images par logiciel⁽¹⁸⁾,
en cas d'échec, assemblage "à la main"⁽¹⁹⁾



Géo-rectification "manuelle" de l'image sur fond repéré de l'IGN 1980
avec Photoshop 6.0



Comme nous disposons de multiples points chronologiques, il est assez aisé de réaliser le "film" de l'évolution pour les différents thèmes. On trouvera ces animations à l'adresse : http://sirius.ac-strasbourg.fr/microsites/hist_geo01/sig-stg-eleves/index.htm.

La qualité des comparaisons obtenues peut être montrée sur un dernier exemple :



Carte de 1680 sur le fond IGN de 1980

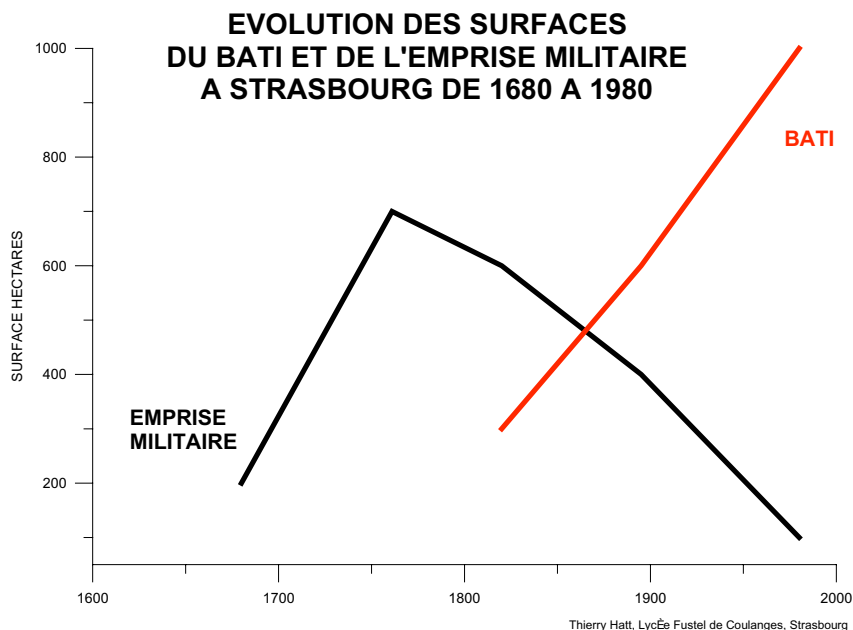
bourg de Pierre ou le faubourg de Saverne aussi, le cours de la rivière Ill à un moindre degré car son cours a été largement modifié au cours du temps. Le Rhin n'a aucune stabilité et la citadelle de Vauban, après 1700 est le seul repère fiable à l'Est de la ville.

Mise à l'échelle et au Nord

La tâche s'est révélée d'une difficulté inattendue. Notre première démarche a été d'utiliser un SIG pour cette rectification. Il s'agit d'un logiciel universitaire américain Idrisi⁽¹¹⁾. Le travail est d'une grande lourdeur, il faut repérer des coordonnées x, y communes aux deux cartes pour effectuer la transformation, plusieurs dizaines de couples doivent être relevés, ce qui est très difficile à trouver sur ce type de documents, ceci fait, les calculs sont relativement longs⁽¹²⁾, les résultats assez décevants. Après un bref passage par Didger⁽¹³⁾ dont le module de rectification n'a pas donné satisfaction nous avons décidé de procéder autrement. Nous avons utilisé Photoshop⁽¹⁴⁾ qui s'est parfaitement prêté à l'exercice si l'on met à part les problèmes posés par le volume des fichiers (1 Go pour la vue aérienne du plan relief de 1836 !). Une couche du logiciel est réservée aux points repères communs à la carte source ancienne et à la carte de 1980, il est ensuite assez aisé de faire les rotations et les transformations linéaires nécessaires avec la couche cartographique.

Les erreurs cartographiques

Les erreurs sont importantes et nous ont gêné : la précision du document de départ est faible, l'optique de l'appareil photo déforme, les erreurs de recollage sont inévitables, la superposition cartographique est donc parfois assez médiocre. Dans certains cas il a fallu carrément couper la carte ancienne, car elle était faussée de plusieurs kilomètres pour le positionnement d'un élément, par exemple la carte des dégâts de 1870 pour la citadelle par rapport à la ville. Cette imprécision est acceptable pour les vues d'ensemble elle ne l'est plus pour les vues de détail. L'imprécision des documents originaux impose des rectifications locales pour passer des petites échelles aux plus grandes ce qui limite l'avantage du SIG.

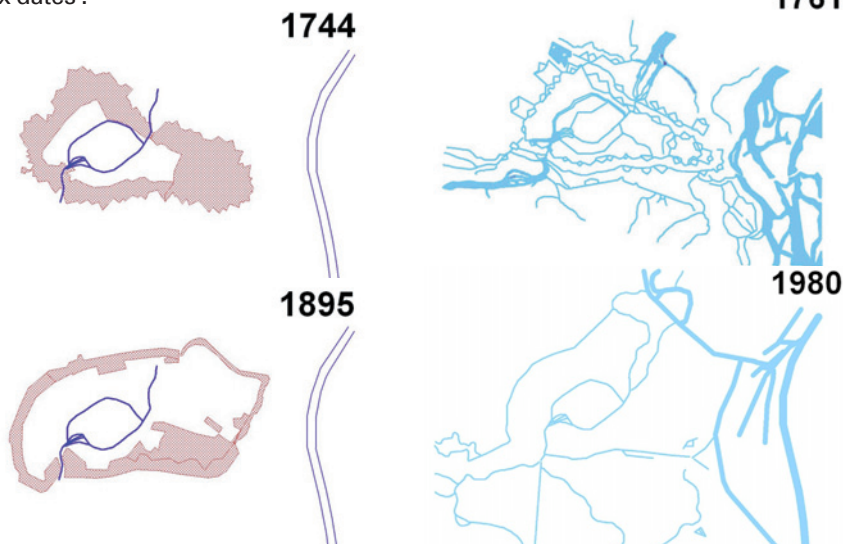


Le système d'information géographique

Nous avons d'abord travaillé avec Idrisi puis nous avons choisi Mapviewer⁽¹⁵⁾ qui nous a apporté pleine satisfaction. Nous stockons pour commencer les fonds cartographiques anciens rectifiés puis les couches suivantes sont vouées aux thèmes étudiés : l'eau, l'emprise militaire, l'évolution du bâti, les espaces verts⁽¹⁶⁾. Toutes les cartes sont ensuite insérées dans le même référentiel, UTM GPS WGS84. On poursuit par le traitement vectoriel de l'information des cartes sources.

Le SIG permet ensuite toutes les comparaisons par exemple l'évolution de la surface de l'emprise militaire à travers le temps (voir graphique ci-dessus).

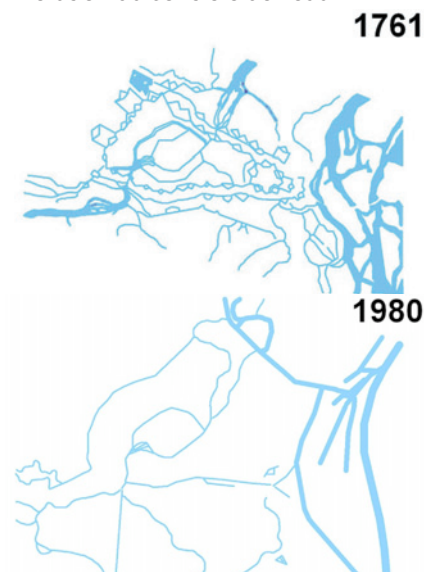
Voici l'exemple de l'emprise militaire à deux dates :



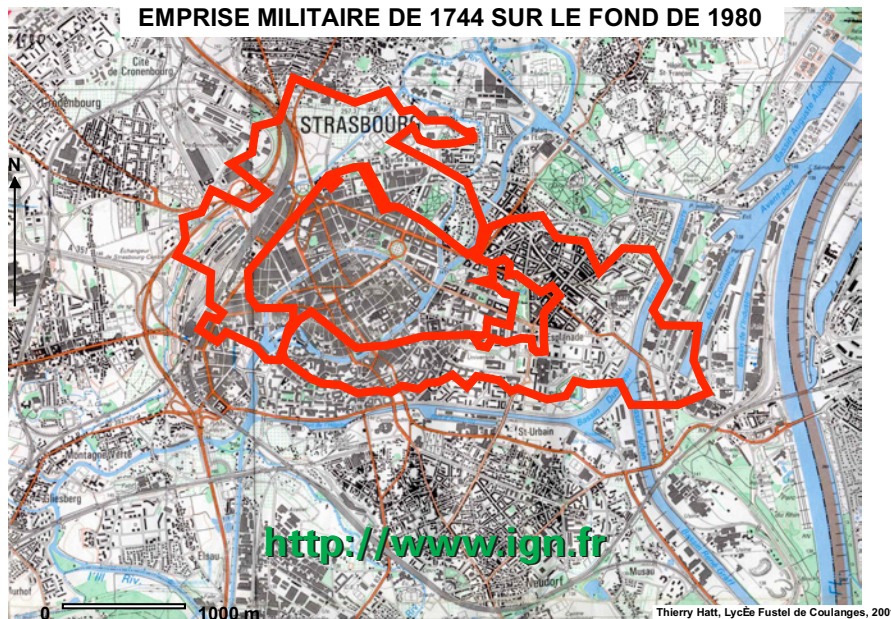
Le problème du volume des données, 40 cédéroms !

Les cartes obtenues par montage ont une taille de l'ordre de 5 000 x 5 000 pixels sur 24 bits, leur encombrement est donc énorme, il a fallu utiliser une compression jpeg, modérée pour ne pas perdre trop d'information tout en limitant l'encombrement. Malgré cette opération nécessaire, le volume des données manipulées dans ce projet crée un véritable problème, en août 2002, les données représentent 24 Go et 15 000 fichiers (données sources et données transformées ainsi que les sites Internet), la sauvegarde, très lourde, occupe 40 cédéroms ! Les fichiers Photoshop.psd sont les plus problématiques certains ■■■

Evolution du contrôle de l'eau :



STRASBOURG EMPRISE MILITAIRE DE 1744 SUR LE FOND DE 1980



■■■ d'entre eux ne tiennent pas sur un seul cédérom et résistent à la compression de sorte qu'il a fallu segmenter les données par période. L'absence de graveur de DVD bon marché a été très gênante.

Un projet pédagogique

Le deuxième objectif est de faire déboucher ce SIG sur un travail avec des classes. Ceci a rendu nécessaire des approches pédagogiques complémentaires, par exemple les cheminements urbains⁽²⁰⁾, de la carte à l'immeuble. Pour rendre le travail plus concret plusieurs cheminements ont été organisés pour les élèves et des photos numériques de Strasbourg en 2002 ont été prises avec eux pour comparer avec le bâti ancien. Les élèves ont ensuite élaboré sous notre maîtrise des cartes thématiques qui ont fourni la base d'un site Internet⁽²¹⁾. Tous les éléments du dossier étant numériques il était assez aisé de placer sur l'Intranet du lycée (pour les élèves qui ne disposent pas d'Internet à la maison) et sur Internet, tous les documents de travail textuels et cartographiques en couleur, cartes sources, cartes redressées, photos des plans relief, photos anciennes, photos actuelles, zooms sur les quartiers étudiés. La démarche avec la classe était la suivante : réalisations à la main, par équipe, sur les fonds de carte A3 fournis des tracés par thèmes, l'eau, les espaces verts, le bâti, les fortifications, numérisation de ces travaux par les élèves les structures informatiques

étant fournies par le professeur, mise en page avec Photoshop, finition avec Dreamweaver⁽²²⁾.

Conclusion

Ce travail est original, il permet de mettre en valeur par comparaison les grandes dates de l'évolution urbaine de Strasbourg à toutes les échelles spatiales avec une aisance impossible à obtenir autrement. La possibilité de fournir à des étudiants les fonds de carte à la même échelle autorise des travaux d'une grande richesse. Ce travail se poursuit en 2002-2003 sur le thème de "Strasbourg, du satellite à la carte". Nous mettrons en SIG les missions satellites et aériennes depuis 1932 pour élaborer un travail du même type que celui poursuivi cette année avec les cartes anciennes. ●

Contact

Thierry Hatt,
professeur agrégé de géographie,
Lycée Fustel de Coulanges,
1, place du Château, 67000 Strasbourg

Références

- 1 L'ensemble des travaux présenté est visible à l'adresse Internet : http://sirius.ac-strasbourg.fr/microsites/hist_geo01/sig-stg/
- 2 Jean Jacques Schwien, "Documents d'évaluation du patrimoine archéologique des villes de France, Strasbourg", 1992, AFAN, 285 p.
- 3 Communauté Urbaine de Strasbourg
- 4 Institut Géographique National, <http://www.ign.fr>
- 5 "Actions innovantes à caractère scientifique

et technique" et "Lire la Ville" - Rectorat de Strasbourg -, "Prix Jeunes Société Générale"

6 Plan de la ville, et citadelle de Strasbourg, avec leurs environs., édition : [S. l.] : [s. n.], [1750?]. description : 1 plan : entoilé et col. ; 75 x 62 cm, sur fille 94 x 65 cm ; M. Carte. 1.224. Datée de 1744 par comparaison avec ms3904 (même légende avec les mêmes numéros repères, mêmes graphismes cartographiques) BNUS

7 Voir à l'adresse : http://sirius.ac-strasbourg.fr/microsites/hist_geo01/sig-stg/index-plans-relief.htm, près de huit cent photographies de la ville ancienne

8 Direction Régionale des Affaires Culturelles

9 Voir à l'adresse : http://sirius.ac-strasbourg.fr/microsites/hist_geo01/sig-stg-eleves/cheminement-1/index-cheminements.htm

10 Nous avons utilisé le Scanjet 5400c de Hewlett-packard avec hp Precision scan pro 3.13

11 Idrisi 32 release 02 de l'Université Clark du Massachusset, <http://www.clarklabs.org/>

12 Nous avons utilisé une machine équipée d'un Pentium II à 400 Mhz, d'une mémoire vive de 256 Mo, de 2 disques durs de 20 Go et d'un disque de 60 Go

13 Didger 3.0 de Golden Software, <http://www.goldensoftware.com/>

14 Photoshop 6.0 release 0.1, <http://www.adobe.fr/>

15 Mapviewer 4.0 de Golden Software

16 L'ensemble des études thématiques est accessible à l'adresse : http://sirius.ac-strasbourg.fr/microsites/hist_geo01/sig-stg/

17 Nous avons utilisé un Canon Power Shot G1 optique 34/102 mm, 3.24 M de pixels

18 Photostitch 3.1 de Canon ou Panorama Factory de Smoky City Design

19 Dans ce cas nous avons travaillé avec Photoshop 6.0

20 Visibles à l'adresse : http://sirius.ac-strasbourg.fr/microsites/hist_geo01/sig-stg-eleves/cheminement-1/index-cheminements.htm

21 Ces résultats sont visibles à l'adresse : http://sirius.ac-strasbourg.fr/microsites/hist_geo01/sig-stg-eleves/index.htm

22 Dreamweaver 4.0 de Macromédia, <http://www.macromedia.com/>

ABSTRACT

The geographical information system presented here studies historical urban geography of Strasbourg, from 1680 to 2000 by superimposing maps at different dates. It was created with low cost and open access equipment. The GIS allows to get very efficient results in comparison terms. The whole work is presented on the Internet at the following address : <http://sirius.ac-strasbourg.fr/microsites/hist_geo01/sig-stg/>

Le SIG du Parc naturel régional des Vosges du Nord, un outil au service du développement durable



Vue générale du château de La Petite Pierre

■ Olivier REIS

Les systèmes d'information géographique suscitent l'intérêt d'un public toujours plus vaste et la richesse de leurs possibilités leur ouvre sans cesse de nouvelles perspectives. C'est ainsi qu'une présentation du SIG du Parc naturel régional des Vosges du Nord a été organisée le 16 mai dernier à l'initiative d'ESRI France, qui a convié des représentants de la presse spécialisée (dont XYZ, représentée par deux membres de l'AFT) à La Petite Pierre (Bas-Rhin) dont le château abrite le siège du Parc.

Pourquoi un Parc naturel a-t-il choisi de développer un SIG et à quel usage peut-il le destiner ? C'est à ces questions que les divers intervenants de la journée se sont appliqués à répondre, non sans avoir précisé le cadre dans lequel s'inscrit cette démarche. En conséquence, une information approfondie a été livrée sur le Parc et ses caractéristiques, sur la structure de l'organisme qui le gère et les documents régissant cette activité (la charte du Parc) avant que la mise en œuvre concrète du SIG (les données utilisées, les moyens déployés, etc.) et les applications possibles (au bureau mais également sur le terrain) ne soient longuement abordées. Enfin, quelques perspectives de développement du système, à court ou à plus long terme, ont été esquissées.

Le Parc naturel régional des Vosges du Nord

Couvrant près de 130 000 hectares et grossièrement inscrit dans un triangle délimité par les villes de Sarreguemines, Wissembourg et Saverne, le Parc s'étend sur deux départements puisqu'un tiers environ de son territoire est en Moselle (région Lorraine) contre deux tiers dans le Bas-Rhin (région Alsace).

Recouvertes de forêts à près de 65 %, les Vosges du Nord constituent la partie septentrionale du massif vosgien. Cette partie est assise sur un substrat de grès, datant de 235 millions d'années,

plus ancien que la partie granitique des Vosges située au sud du massif, ce qui explique son altitude plus modeste, puisqu'elle culmine à 581 mètres au Grand Wintersberg, près de Niederbronn-les-Bains.

Le grès est omniprésent dans le paysage, que ce soit sous une forme sablonneuse et désagrégée ou compacte et impressionnante comme ces éperons rocheux émergeant ou non de la couverture forestière et parfois couronnés de ruines de châteaux forts qui témoignent par ailleurs d'un passé historique particulièrement riche.

Terre de frontière entre la Lorraine et l'Alsace comme entre la France et l'Allemagne, les Vosges du Nord sont parsemées d'ouvrages militaires dont les plus imposants sont sans doute la citadelle de Bitch, œuvre de Vauban, et les nombreux forts et redoutes de la ligne Maginot, pour en revenir à un passé plus récent.

Au plan économique, les industries du verre et surtout du cristal ont assuré la renommée de la région (les cristalleries de Saint-Louis ou Lalique) tout en étant ses principales pourvoyeuses d'emplois, épaulées sur ce plan par la métallurgie (De Dietrich).

Au-delà de la frontière franco-allemande, le socle gréseux se prolonge dans la forêt du Palatinat qui bénéficie du même statut de parc naturel régional que les Vosges du Nord sous la dénomination de Naturpark Pfälzerwald. Entre Kaiserslautern et la plaine du Rhin, on y rencontre les mêmes rochers ruiniformes en grès, souvent polis par l'érosion, des tourbières semblables et des ruisseaux forestiers similaires. Et l'histoire y est tout aussi présente puisque Richard Cœur de Lion fut détenu au château de Triffels, à quelques kilomètres au nord de Wissembourg, à son retour des croisades.



Le Parc naturel régional des Vosges du Nord et le Naturpark Pfälzerwald



L'étang et la ruine en surplomb (la tour de Waldeck), paysage caractéristique des Vosges du Nord

C'est donc tout naturellement que les deux parcs entretiennent une étroite collaboration, encore renforcée depuis leur classement conjoint par l'UNESCO en réserve de la biosphère, intervenu en 1998. Réunis, les deux parcs constituent en outre la plus grande forêt d'Europe de l'Ouest, couvrant une superficie globale de plus de 300 000 hectares (dont 180 000 hectares pour le Naturpark Pfälzerwald), boisée à près de 70 %.

La charte du Parc

Bien que la collaboration et les liens tissés entre les deux parcs soient étroits, chacun dispose de sa propre structure de gestion. Celle du Parc naturel régional des Vosges du Nord est confiée au Syndicat de coopération pour le Parc (SYCOPARC). Le statut de cet organisme est celui d'un syndicat mixte regroupant les communes du Parc, les établissements de coopération intercommunale, les départements de la Moselle et du Bas-Rhin, les régions Lorraine et Alsace ainsi que l'Etat. Un certain nombre de membres associés disposent en outre d'une voix consultative. Parmi eux figurent les chambres consulaires ou l'Office national des forêts (ONF).

Le SYCOPARC a pour mission de mettre en œuvre la stratégie décrite par

la Charte constitutive du Parc naturel régional des Vosges du Nord, approuvée le 30 décembre 1975, puis le 28 juin 1994, après une première révision. Ce document stratégique définit cinq grandes orientations pour le Parc visant toutes à atteindre le même but : en assurer le développement durable. Qu'il s'agisse de la maîtrise de l'évolution du territoire et des paysages, de la protection du patrimoine naturel et culturel, des activités économiques ou de la qualité de vie des habitants, la pérennité est une préoccupation constante requérant l'emploi d'outils appropriés permettant une surveillance permanente de l'ensemble de ces paramètres pour détecter toute dérive ou dégradation éventuelle. La charte a donc prévu la création d'un observatoire du Parc se traduisant concrètement par la mise en place d'un système d'information géographique, baptisé SIGIS® (SIG intégré du SYCOPARC), décrit en ces termes (orientation 1.1) :

L'observatoire du Parc, outil de cohérence

Dans le cadre de l'Observatoire du Parc, le SYCOPARC apportera aux communes son aide en structurant et diffusant cette information, notamment grâce à son Système d'Information Géographique (SIGIS®).

L'Observatoire du Parc construit et pérennise les bases de données géographiques et alphanumériques sur le Parc, relatives aux richesses patrimoniales du Parc, mais aussi aux données économiques.

Cet Observatoire est formaté pour servir aux communes du Parc (108 communes, soit 1.200 km²). Pour répondre à son objectif de cohérence, son aire d'investigation a cependant été étendue aux périmètres des intercommunalités situées à cheval sur le périmètre du Parc (215 communes, soit 2.500 km²), ainsi qu'au territoire du Naturpark Pfälzerwald (soit un total de 5.000 km²).

La base de données globales sur les espaces du Parc sera régulièrement alimentée et mise à jour, dans le cadre des politiques de l'Etat, des Régions et des Départements.

A la lecture de ces lignes, on ne peut qu'être frappé par la très forte identification entre l'Observatoire du Parc et l'outil (SIGIS®) mis en œuvre pour atteindre l'objectif assigné, ce qui témoigne clairement de la parfaite adéquation entre la fin (le suivi de l'évolution du territoire) et les moyens déployés (le SIG). Les questions initiales sur le choix stratégique du développement d'un SIG ainsi que sur l'usage auquel on le destine ont donc naturellement trouvé leurs réponses. Il ne reste plus alors qu'à traduire les intentions en actes et à donner corps au SIGIS®.

■ **L'Observatoire du Parc (SIGIS®)**

Si le SYCOPARC comptait un chargé de mission SIG dans ses rangs dès 1990, c'est en 1995 qu'est venue l'impulsion décisive avec le lancement du programme européen LIFE Environnement en collaboration avec le Naturpark Pfälzerwald. La dotation financière correspondante a permis la couverture des frais de personnel (2 personnes à temps plein) comme l'acquisition de matériel (actuellement constitué d'une station UNIX et de PC en réseau (Ethernet), de deux imprimantes, d'un traceur au format A0 et d'une table à digitaliser), de logiciels (sur la base de la gamme des produits ArcGIS® d'ESRI, également utilisés par le Naturpark Pfälzerwald, cela va de soi) et de données. Comme dans ■■■



La base de données de l'Observatoire du Parc (SIGIS®)



Aperçu sur les bases de données de SIGIS®

■ tout SIG, une attention particulière a été portée à celles-ci, puisqu'elles constituent le cœur même du système. La stratégie définie devait veiller à apporter une réponse appropriée à certaines questions d'importance parmi lesquelles :

● Faut-il acquérir des bases de données ou les créer sur mesure pour ses propres besoins ?

Il est difficile d'apporter une réponse tranchée à cette question tant les facteurs à prendre en compte sont nombreux : l'existence de bases de données appropriées, l'adéquation entre leurs propres paramètres (extension géographique, référentiel, précision, échelle, etc.) et les objectifs poursuivis, le prix d'achat, les ressources en hommes et en moyens disponibles pour la saisie de données ou les possibilités de mises à jour pour ne citer

que ceux-là. Le SIGIS® oscille entre les deux options, des fonds cartographiques de base (données IGN pour le Parc, images satellites SPOT pour la réserve de biosphère transfrontalière) étant complétés par des bases de données acquises ou créées suivant les besoins, les moyens et les projets, chaque nouveau projet enrichissant un peu plus le SIG.

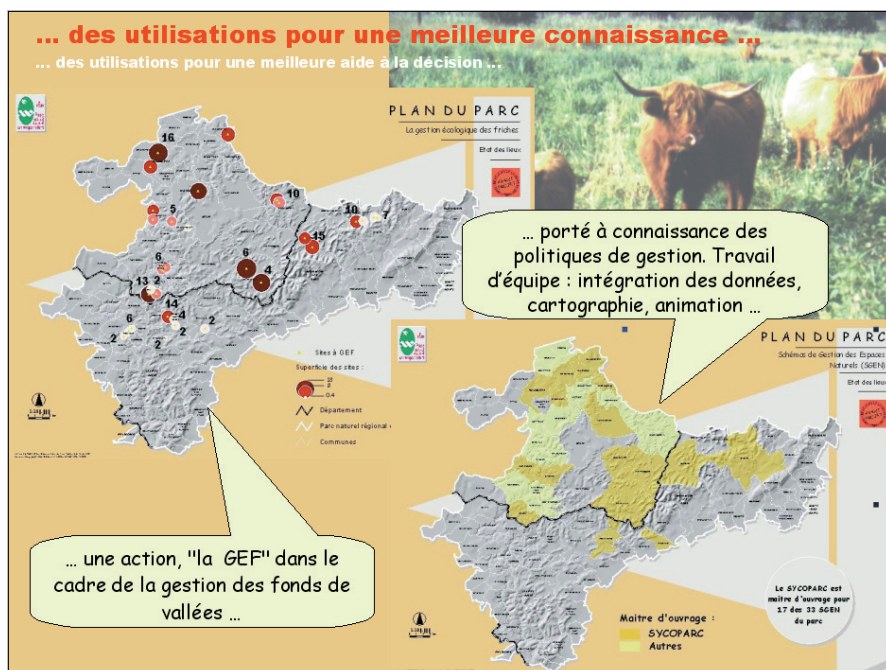
● Quel est le niveau de précision requis et par suite, à quelle échelle travailler ?

Le niveau de précision requis découle principalement des objectifs à atteindre, lesquels peuvent se suffire d'une précision de niveau métrique, ce qui explique le choix de l'échelle d'entrée globale du 1 : 25'000°, par ailleurs dictée par les données géographiques de base de l'IGN. Le SIGIS® est un outil que l'on peut qualifier de "généraliste", couvrant un territoire étendu (d'environ

2.500 km², pour la seule partie française), à la gestion duquel deux personnes sont affectées.

● Quel référentiel utiliser, du fait de la collaboration avec le Naturpark Pfälzerwald ?

Les projections (conique conforme de Lambert en France, Gauss-Krüger cylindrique en Allemagne) tout comme les ellipsoïdes de référence étant différents, les données acquises auprès de l'IGN pour le territoire français et du Bundesamt für Kartographie und Geodäsie pour le territoire allemand reposent sur des datums géodésiques différents. Comment alors les concilier dans le cadre d'applications relatives à la réserve de biosphère transfrontalière réunissant les deux parcs ? On aurait pu procéder à une transformation de coordonnées, rigoureuse ou approchée, pour passer d'un système à l'autre et



Les "highland cattle" et la gestion écologique des friches

pouvoir utiliser les deux jeux de données dans les deux systèmes mais on a préféré se tourner vers des images satellites SPOT couvrant la totalité du périmètre avec une précision suffisante, garantissant ainsi la cohérence des informations sur l'ensemble de la zone de couverture. Remarquons par ailleurs que cette question aurait mobilisé une plus grande attention si une précision plus élevée (centimétrique par exemple) avait été recherchée.

● Quelles données intégrer ?

Comme le schéma général d'organisation permet de le constater, le SIGIS® intègre de nombreuses bases de don-

nées de natures très différentes mais complémentaires les unes des autres. Les données géographiques acquises auprès de l'IGN (BD carto ou BD Alti) sont complétées par des orthophotos et des images satellites (SPOT, cf. paragraphe précédent) et assurent ainsi la référence sur laquelle viennent s'appuyer des données de types différents, à caractère plus thématique et subdivisées en 5 grandes catégories (aménagement du territoire, base socio-économique, patrimoines naturels, culturels et écotourisme) couvrant l'ensemble des aspects à prendre en compte.

Outre l'IGN, elles ont été obtenues

auprès de l'INSEE ou d'autres organismes gestionnaires de données ou créées de toutes pièces s'agissant de données plus spécifiques au parc (la base des châteaux ou celle de la réserve naturelle, recensant les rochers et tourbières du Pays de Bitche). Les données des différentes bases peuvent bien entendu être combinées les unes aux autres pour les besoins d'un projet ou d'une analyse plus ponctuelle. D'autres bases, en cours de développement, viendront encore enrichir ce réservoir d'informations.

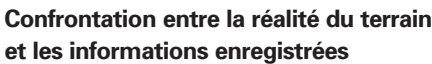
Créé en 1996, le SIGIS® est pleinement opérationnel depuis 1997 et son état actuel de développement ainsi décrit témoigne des potentialités qu'il recèle. Les quelques exemples suivants permettront au lecteur d'en juger.

■ La connaissance du territoire et le suivi de son évolution

L'analyse comparée de données cartographiques du début des années 1960 et du milieu des années 1990 a permis de mettre en évidence une progression de l'enfrichement dans les fonds de vallées. Un projet de "gestion écologique des friches" a donc vu le jour, se traduisant notamment par l'importation de vaches de race "highland cattle" (que l'on a pris coutume d'appeler "poilus - cornus" dans la région, dénomination aussi juste que parlante) dont la vertu principale est de se satisfaire du peu que ces friches peuvent leur offrir, ce qui permet de valoriser ces terrains puisque ces bêtes sont désormais destinées à l'abattage.

Comme on peut le constater, le SIG ■■■

Comme on peut le constater, le SIG constitue un outil précieux pour gérer les différents sites d'implantation de vaches de race "highland cattle" ou encore leur nombre, sachant que leur densité ne doit pas excéder 1000 têtes pour 1000 hectares. Le SIGIS® présente donc un double intérêt ici, puisque la progression de l'enfrichement au cours des trente dernières années a pu être mise en évidence grâce à l'exploitation croisée de ses données et qu'il permet d'assurer le suivi du projet mis en œuvre pour répondre à cette situation. Dans un autre ordre



■ ■ constitue un outil précieux pour gérer les différents sites d'implantation de ces bêtes ou encore leur nombre, sachant que leur densité ne doit pas excéder 1 000 têtes pour 1 000 hectares.

Le SIGIS® présente donc un double intérêt ici, puisque la progression de l'enfrichement au cours des trente dernières années a pu être mise en évidence grâce à l'exploitation croisée de ses données et qu'il permet d'assurer le



Dossier bourg - centre : la commune d'Ingwiller

suivi du projet mis en œuvre pour répondre à cette situation.

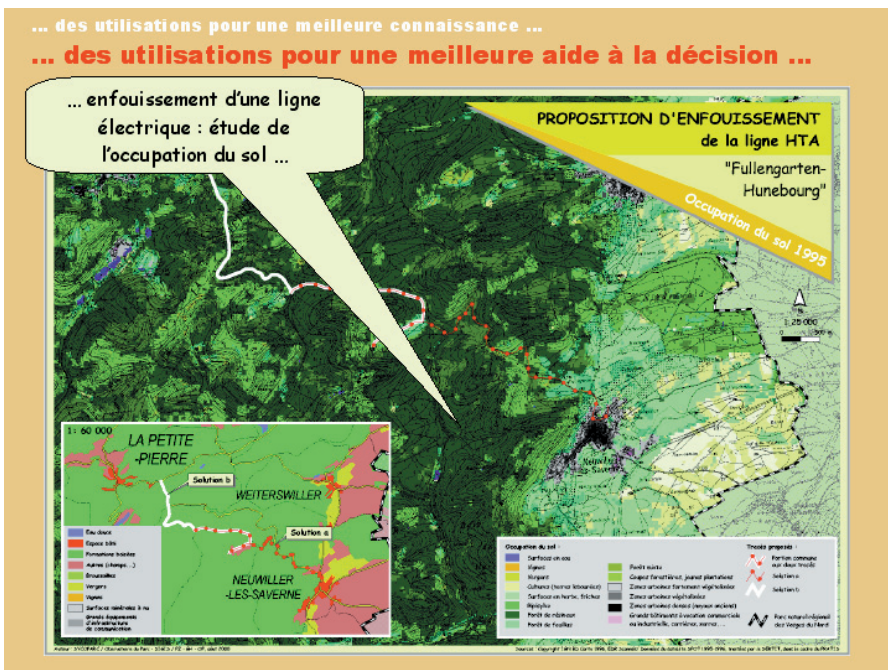
Dans un autre ordre d'idées, le SIGIS® a également permis d'aider à gérer les conséquences de la tempête du 26 décembre 1999 qui a traversé la partie sud du Parc en y causant des dégâts non négligeables, au point que certaines zones ont dû être interdites aux randonneurs. Ici, le SIG a servi à dresser

une cartographie de l'état de réouverture des sentiers pour porter cette information à la connaissance du grand public.

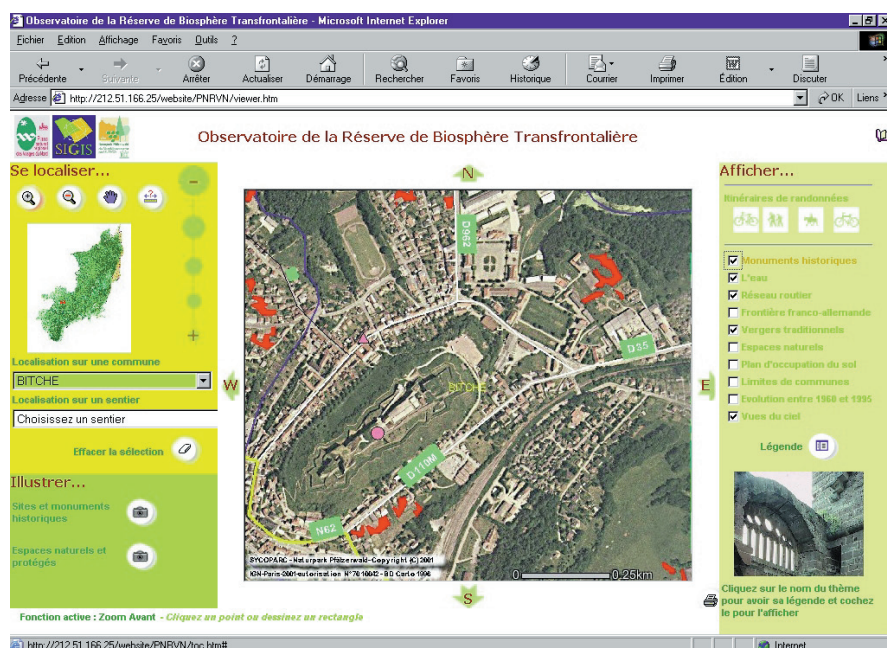
Pour chacun de ces deux exemples, la saisie de données ou le suivi du projet nécessitent des visites de contrôle sur le terrain, occasion de valider, d'infirmer ou éventuellement de compléter les informations recueillies. Grâce à ArcPad, le SIG nomade d'ESRI, ces opérations sont directement effectuées sur place, en recourant à un petit ordinateur de poche, facile à transporter, comme le montre la photo. Les modifications réalisées n'ont plus ensuite qu'à être transférées dans SIGIS®.

■ L'aide à la décision

Outre sa capacité à dresser un état des lieux, un SIG peut également se révéler d'une aide précieuse dans la prise de décision par les synthèses d'informations qu'il permet d'effectuer. Dans le cadre par exemple d'un projet de nouvelle ligne électrique à haute tension traversant le périmètre du Parc, l'apport du SIGIS® a été déterminant pour faire prévaloir la proposition d'enfouissement soumise à EDF. Le diagnostic de l'impact d'une ligne aérienne sur le



Carte de l'occupation du sol pour la proposition d'enfouissement d'une ligne HT



Orthophoto de la ville de Bitche, au pied de la citadelle

paysage, l'environnement, ses effets néfastes sur les richesses patrimoniales concernées et donc sur le tourisme ont fait pencher la balance en faveur d'un enfouissement de la ligne pour lequel EDF a investi plusieurs centaines de milliers d'euros.

Le SIGIS® permet également d'analyser le degré d'urbanisation de certaines zones et de suivre leur évolution année après année, en combinant au besoin différentes sources de données. Avec ce type d'application, on touche cependant à une limite du SIGIS®, celle inhérente à la précision de ses bases de données actuelles.

Dans un registre encore différent, le SIGIS® permet de visualiser les relations qu'entretiennent un bourg (la commune bas-rhinoise d'Ingwiller dans ce cas précis, à mi-chemin entre Saverne et Reichshoffen, dans la zone du piémont) et les cantons environnants, par exemple pour ce qui concerne les déplacements quotidiens de la population entre son domicile et son lieu de travail. Ce type d'information peut être très précieux pour les élus locaux ou pour les services de l'Etat.

Enfin, l'Observatoire a développé un outil intitulé "KIT POS" destiné au diagnostic territorial d'une commune dans

l'optique de la création ou de la révision d'un plan d'occupation des sols. Là encore le SIGIS® permet de mobiliser toutes les données disponibles sur la commune concernée pour les croiser et fournir une information aussi complète que possible aux élus auxquels la décision finale appartient.

Ces quelques exemples donnent la mesure des possibilités offertes par le SIG dont les données ne s'adressent pas uniquement aux seuls décideurs mais peuvent intéresser un public plus vaste, d'autant qu'Internet fournit désormais à tout un chacun le moyen d'accéder aux informations de son choix.

■ La diffusion des données

Outre la présentation du Parc naturel régional des Vosges du Nord, de ses richesses naturelles et patrimoniales, d'une sensibilisation des visiteurs à la protection de l'environnement et d'une introduction de la notion de développement durable, le site Internet (www.parc-vosges-nord.fr) offre également l'accès à certaines données du SIG, téléchargeables ou consultables en ligne, comme le montre cette orthophoto de la ville de Bitche.

Si les possibilités ainsi offertes restent encore modestes actuellement, en raison d'écueils d'ordre essentiellement technique, mais également parce que le site s'adresse avant tout au grand public et non à quelques spécialistes, elles seront développées et renforcées à l'avenir afin de favoriser la diffusion des informations ■■■

Dans un registre encore différent, le SIGIS® permet de visualiser les relations qu'entretiennent un bourg (la commune bas-rhinoise d'Ingwiller dans ce cas précis, à mi-chemin entre Saverne et Reichshoffen, dans la zone du piémont) et les cantons environnants, par exemple pour ce qui concerne les déplacements quotidiens de la population entre son domicile et son lieu de travail. Ce type d'information peut être très précieux pour les élus locaux ou pour les services de l'Etat. Enfin, l'Observatoire a développé un outil intitulé "KIT POS" destiné au diagnostic territorial d'une commune dans

Cartographie Interactive

Observatoire du Parc Naturel Vosges du Nord-Pfälzerwald



- Aide à la décision
- Appui technique
- Porter à connaissance
- Cartographie et bases de données

tainement à jouer à l'avenir le rôle moteur qui est le sien actuellement en matière de SIG parmi les 40 parcs naturels régionaux français.

Sources documentaires

La rédaction du présent article s'est largement appuyée sur le dossier de presse fourni lors de la journée de présentation du 16 mai dernier à La Petite Pierre et notamment sur les documents contenus dans le CD de presse dont la plaquette SIGIS et la Charte du Parc. ●

Contacts

Olivier Reis

9, rue des Champs
57200 SARREGUEMINES
Tél. / télécopie : 03 87 98 57 04
E-mail : o.reis@infonie.fr

Observatoire du Parc :

Gabriel Hirlemann (responsable) / Pierre Zimmermann
Maison du Parc / Le château BP 24
67290 La Petite Pierre
Tél. : 03 88 01 49 66
Télécopie : 03 88 01 49 60
E-mail : sigis@parc-vosges-nord.fr

relatives au Parc. Le volet de la cartographie interactive, assez largement informatif pour l'heure, sera notamment appelé à s'étoffer pour faciliter la consultation par tous d'informations en ligne.

Et pour ceux qui s'intéressent à la réserve de biosphère transfrontalière, sachez qu'un site lui est également consacré (www.biosphere-vosges-pfaelzerwald.org). Il poursuit toutefois un objectif plus volontiers didactique, puisqu'il vise avant tout à présenter ou à mieux faire connaître la réserve de biosphère que sa fragilité impose de protéger, d'où l'importance de la notion de développement durable. L'accès au site peut s'effectuer directement ou via un lien sur le site du Parc des Vosges du Nord.

On l'aura compris, la marge de progression, au niveau de la diffusion des données comme dans d'autres domaines, reste importante et les perspectives de développement du SIGIS® sont nombreuses.

Un peu de prospective

Si la mise à jour permanente et le développement des bases de données existantes figurent en bonne place, en recourant par exemple et de manière encore plus appuyée qu'actuellement aux possibilités du SIG nomade, d'autres extensions sont également prévues, faisant la part belle aux sites Internet (plate-forme ArcIMS d'ESRI) et à une plus large diffusion des informations, notamment au travers d'interfaces "métiers". Dans le même ordre d'idées, un réseau extranet devrait être

ouvert à moyen terme, destiné aux élus et aux institutions, de même qu'une interface grand public, grâce au déploiement de Géokiosk.

A plus long terme, de nouvelles applications sont envisagées, notamment en 3D. Si elles sont déjà possibles et présentes aujourd'hui (cf. par exemple la vue du paragraphe précédent sur la cartographie interactive), les capacités actuellement insuffisantes du matériel les rendent encore lourdes à mettre en œuvre, ce qui ne sera probablement plus le cas dans quelques années.

Quoi qu'il en soit, le Parc naturel régional des Vosges du Nord continuera cer-

ABSTRACT

The Geographical Information System (GIS) set up by the Northern Vosges Regional Park aims mainly at helping to ensure the sustainable development of that predominantly rural and forested area of north eastern France, designated as a biosphere reserve by UNESCO in 1998.

Several databases have been built up to provide comprehensive knowledge of all aspects of the region. Spatial data has been acquired from IGN (BD Carto, BD Alti and orthophotos) and other sources (Spot satellite images); non-spatial information has been collected from INSEE and other agencies (for regional policy purposes) while highly specialised information (such as details of the castles within the Park) has been captured in-house.

Many applications are envisaged, of which some are highly original (for example, managing the highland cattle which were introduced a few years ago on fallow land, in order to find a new use for this abandoned land, whose area has continuously increased over the past thirty years: the GIS helped in recognising this expansion by means of two data sets from 1962 and 1995 about land use throughout the Park). Other applications are more conventional: for example on a new EDF power line project, the GIS helped to demonstrate that burying this line was the best solution. Finally, with the development of 3D applications and with the help of the Internet, the GIS will offer new possibilities which will soon be accessible to everyone.

Les outils cartographiques et SIG développés dans le cadre des études hydrauliques à la compagnie nationale du Rhône

■ Michel GARCIA

Présentation de La Compagnie Nationale du Rhône

Créée en 1933, la CNR s'est vu confier par l'état trois missions liées à l'aménagement du Rhône :

- La production d'électricité
- La navigation et la création de ports fluviaux
- Le développement agricole par la création de réseaux d'irrigation et de drainage

Société anonyme dite "d'intérêt général" en raison de sa principale mission initiale d'aménagement du territoire, elle compte plus de 200 actionnaires de droit public EDF, SNCF, les collectivités territoriales, les chambres consulaires, les ports ...

L'Etat bien que non actionnaire intervient vis-à-vis de la Compagnie comme pour une entreprise publique, et fixe dans le cadre de la concession le contenu de ses interventions.

Depuis la loi du 10 février 2000 la CNR est devenu producteur d'électricité indépendant et de plein exercice en application de la directive européenne sur le marché de l'électricité. Ses usines hydroélectriques produisent 25 % de la production hydroélectrique française soit 3% de la production totale d'électricité de la France.

Le domaine de sa concession s'étend de la frontière Suisse près de Génissiat jusqu'à la mer Méditerranée.

Historique du développement du SIG hydraulique de la CNR

L'Etude globale pour une stratégie de réduction des risques dus aux crues du Rhône a été à l'origine du développement d'un SIG à la CNR.

A la suite des fortes crues de 1993 et 1994 qui avaient provoqué des dégâts importants dans le sud de la vallée du Rhône, le Ministère de l'Environnement a décidé d'engager une réflexion globale sur le fonctionnement du fleuve en crue. La maîtrise d'ouvrage d'ensemble de l'étude a été confiée à l'Institution Interdépartementale des bassins Rhône Saône

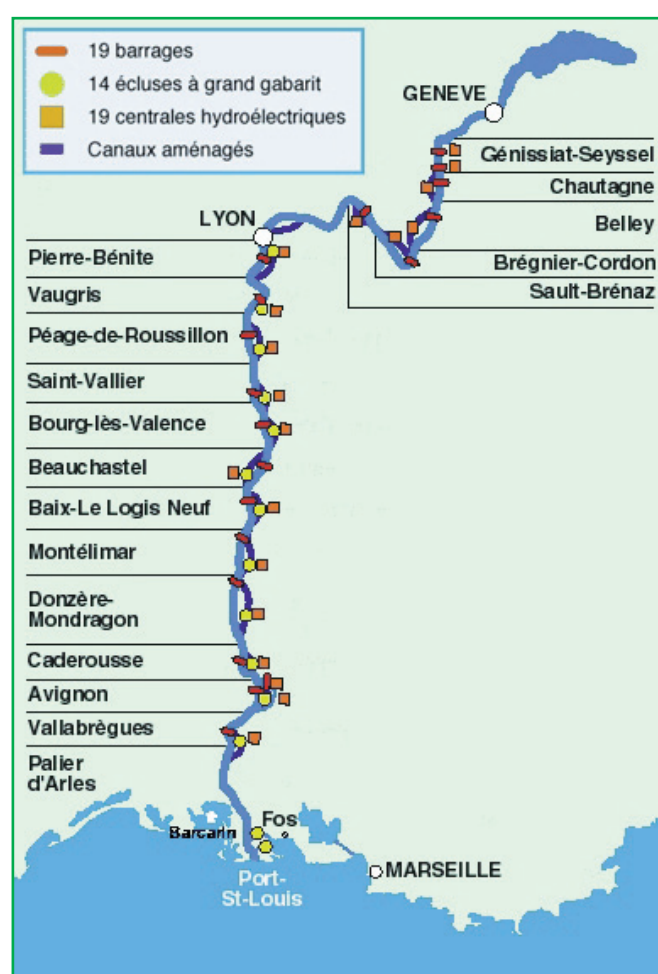


FIGURE 1 : Plan de situation du Rhône

(devenu depuis "Territoire Rhône") conjointement avec la Direction de l'Exploitation de la CNR pour le volet hydraulique. Ce SIG a été développé au sein de la Direction de l'Ingénierie de la société.

La CNR dispose d'une structure micro-informatique de type client serveur. Chaque utilisateur se connecte sur son poste de travail et accède à plusieurs serveurs de données qui contiennent les bases de données et les fichiers utilisateurs. ■ ■ ■

- ■ ■ Après plusieurs tests c'est le logiciel Arcview qui a été choisi pour développer ce SIG. La CNR dispose aujourd'hui de six licences.

Le domaine de la CNR est situé sur 2 zones de projection Lambert différentes :

Lambert2 au nord de Vienne et Lambert3 au sud de Vienne. Les données informatiques source issues de logiciels de dessin ou de bases de données Excel, Access ont été fournies dans le système de projection local qui ne permettait pas d'avoir une homogénéité dans les bases de données.

Le logiciel de SIG a permis facilement de transformer les données dans le système de projection Lambert2 étendu qui permet d'avoir une cartographie linéaire de Génissiat jusqu'à la mer.

Les données du SIG

Le SIG à la CNR est constitué de plusieurs types de données

■ Les données de L'IGN

C'est le fond de carte du SIG qui a permis dès le début de se situer de manière homogène sur toute la zone potentielle des inondations.

Ce sont des données qui ont été achetées.

Elles sont de 2 types

- **Les données rasters** : 2 bases sont actuellement disponibles SCAN 25 (échelle 1/25 000) et SCAN 100 (échelle 1/100 000)

- **Les données vecteurs** : la BD carto de l'IGN

■ Les données de l'Agence de l'eau

Les bassins versants et les cours d'eau issus de la BDCARTHAGE.

La BDCARTHAGE est une base de données qui s'appuie sur la BDCARTO de l'IGN. La base de données IGN est complétée par une codification permettant de mieux identifier les différents constituants hydrographiques. Le territoire divisé en 6000 zones hydrographiques (bassins versants élémentaires). La codification permet de mieux identifier les cours d'eau ainsi que le milieu aquatique (cours d'eau naturel, voie d'eau artificielle, plan, d'eau ...).

Cette base de données est fournie sous le système de projection Lambert2 étendu qui nous permet immédiatement de l'intégrer à notre SIG existant.

Ces données réglementaires très complètes fournies par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse ont été épurées sur l'étendue du domaine CNR afin de ne conserver que l'information ciblée sur ses besoins.

■ Les données générales de la CNR

La CNR concessionnaire du Rhône depuis 1933 dispose de nombreuses données d'origine très différentes.

Les documents qu'elle possède reflètent l'évolution chronologique et géographique des méthodes de travail.

Documents calques puis papier tout d'abord, fichiers textes, fichiers issus de tableur, bases de données Oracle ou Access, dessins sous forme numérique scannés avec des logiciels divers (Autocad, Medusa...), orthophotographies, levés topographiques effectués par des équipes CNR soit par des prestataires extérieurs (photogramétrie) constituent un patrimoine très hétérogène. De nombreuses données issues des directions régionales réparties sur un linéaire de 500 km avec des méthodes de travail différentes adaptées à chaque besoin particulier sont une difficulté supplémentaire non négligeable. Les unités régionales ont un objectif général commun : celui de gérer une zone géographique déterminée. Cependant chaque région ayant des spécificités, certains ont pu pour des besoins différents acquérir de l'information sous formes différentes.

L'information se récupère donc souvent par petites parties car une information homogène sur tout le domaine est très difficile à obtenir.

Le logiciel de SIG amène des outils qui permettent techniquement de synthétiser sans trop de difficultés les différents types de données disponibles.

Les principaux types de données disponibles ont nécessité les opérations suivantes

■ données topographiques

● Les orthophotographies (couverture partielle)

L'intégration des photos aériennes déjà disponibles sous forme numérique est en cours.

Des fichiers au format TIF fournis par des géomètres lors de campagnes photogramétriques peuvent être utilisés sous SIG mais aussi dans d'autres applications de type DESSIN ou PAO.

Certaines photos aériennes n'étant pas géoréférencées, des outils informatiques permettent d'effectuer cette opération. C'est en se calant par digitalisation par rapport à des points particuliers que l'on repère sur une carte SCAN 25 ou un plan que l'on géoréférence les photos aériennes. Cette précision est acceptable pour les besoins de visualisation (la photo nous

De nombreuses données issues des directions régionales réparties sur un linéaire de 500 km avec des méthodes de travail différentes adaptées à chaque besoin particulier sont une difficulté supplémentaire non négligeable. Les unités régionales ont un objectif général commun : celui de gérer une zone géographique déterminée. Cependant chaque région ayant des

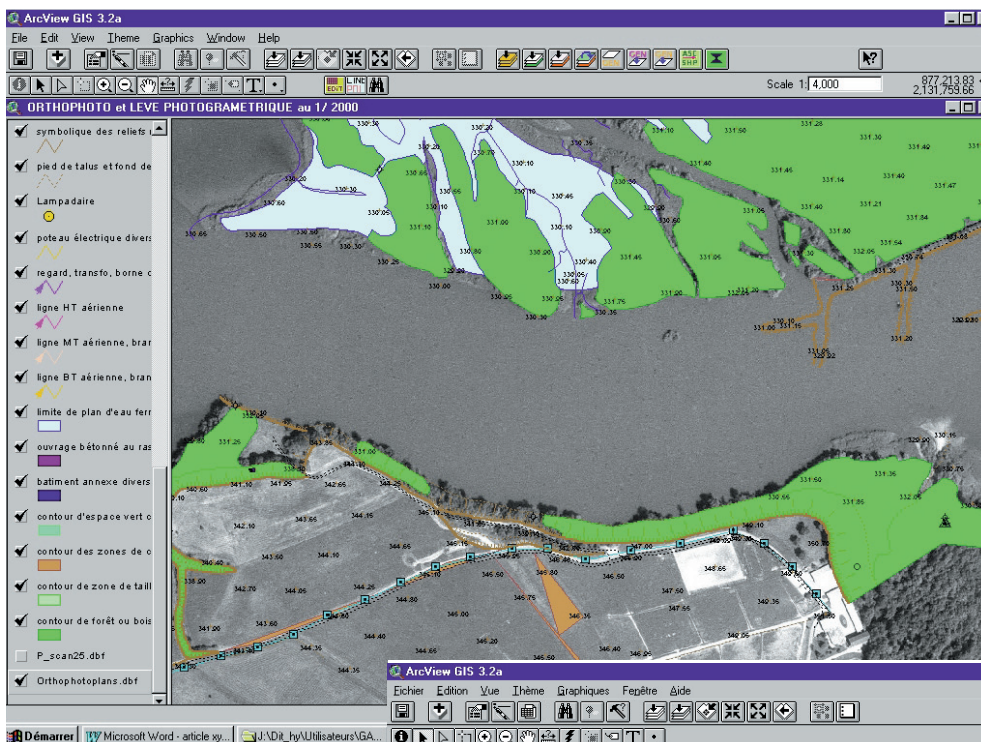


FIGURE 2 : orthophotographie et levé photogramétrique au 1/ 2 000

FIGURE 3 : fond de plan IGN scan25 et données descriptives saisies par CNR

servant alors de fond de plan) mais pas pour une utilisation topographique fine. L'emplacement de la photo ne peut pas être considéré comme précis au pixel près. L'évolution des techniques étant très rapide, il est déjà envisagé de transformer les formats d'image utilisés. La transformation des images TIF en format compressé type Mr SID ou ECW pourrait apporter d'une part un gain de place disque important et une rapidité d'affichage accrue.

● Les données "vecteurs"

et les modèles numériques de terrain (en partie)

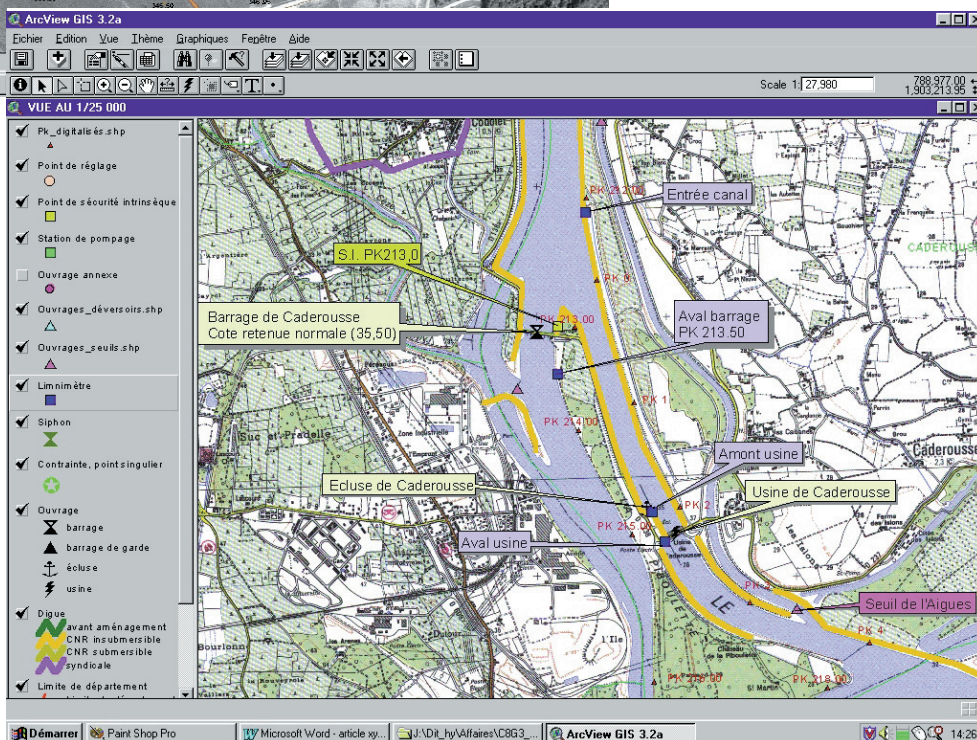
La CNR dispose d'une base de données cartographique vectorisée le long du Rhône. Les données sont disponibles sous le logiciel de dessin principalement utilisé : "Medusa".

Ces dessins au 1/2 000 sont issus soit :

De levés papier effectués par des cabinets de géomètres en leur temps puis scannés et vectorisés.

De levés photogramétriques pour les plus récents.

Le but du SIG n'est pas à l'heure actuelle de gérer la topographie au 1/2 000. En conséquence tous les documents n'ont pas été transférés. Cependant de nombreux éléments peuvent être utiles. Les données nécessaires sont transférées au gré des besoins.

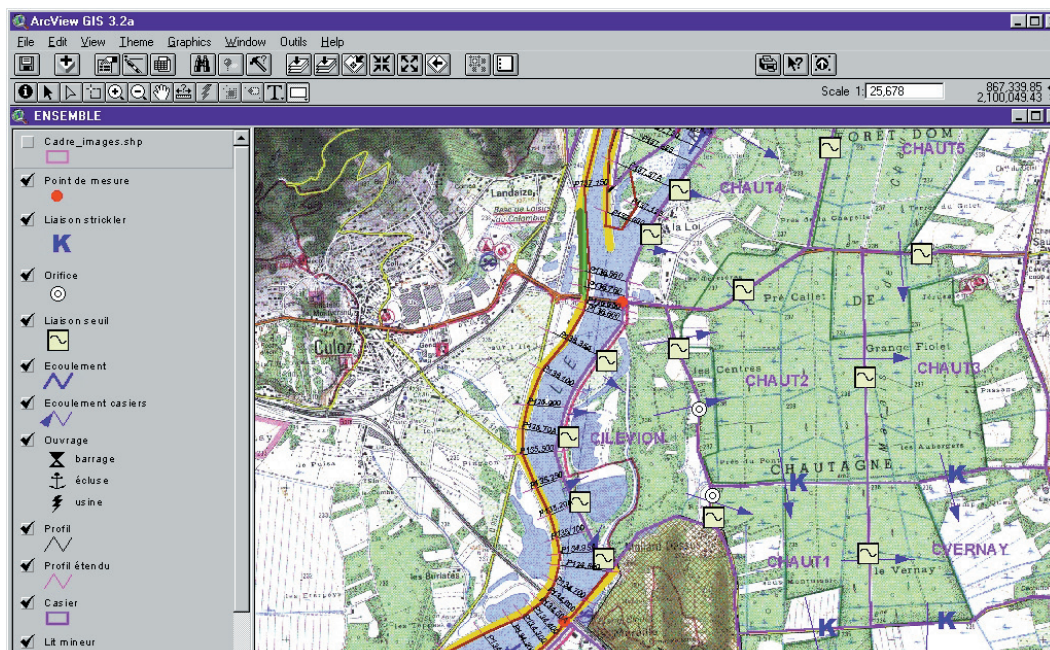


Les possibilités de communiquer sont :

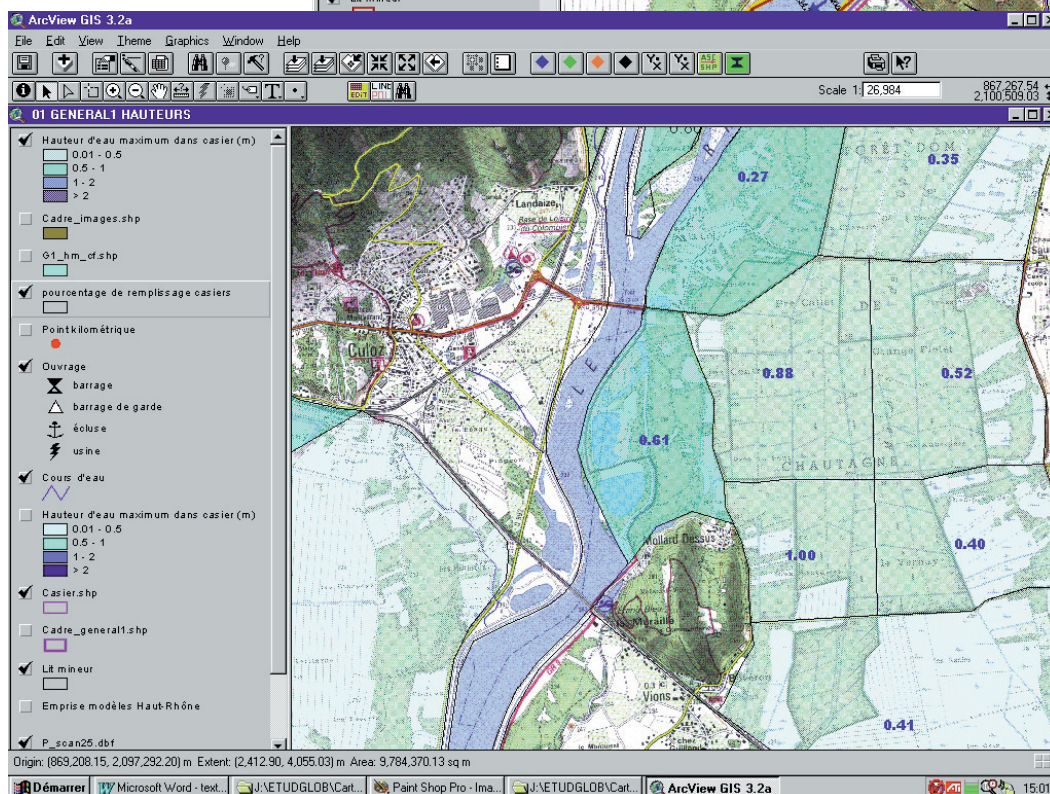
- Soit par l'intermédiaire de fichiers DXF. Le DXF nous permet de récupérer la forme graphique des éléments. Cependant l'architecture du logiciel source (gestion des couches, des attributs) n'est pas toujours respectée. Une récupération sous cette forme nous contraint à une réorganisation importante (en temps) sous notre logiciel SIG. Cette solution n'est pas complètement satisfaisante.

- Soit par une passerelle spécifique qui a été développée et qui permet de récupérer intégralement et parfaitement toute la base de données (graphisme, gestion des couches, attributs) avec une structure équivalente à celle définie dans notre logiciel de dessin.

**FIGURE 4 : fond de plan
IGN cartographie des
caractéristiques des
modèles hydrauliques
CNR**



**FIGURE 5 : cartographie
des résultats de
simulations hydrauliques**



Les traitements effectués pour intégrer dans le SIG les résultats des modèles mathématiques permettent donc indirectement de récupérer des données de précision topographique.

● Les points kilométriques

Points de repérage essentiels en ce qui concerne la navigation, ils sont constitués de bornes levées et fournies par les services topographiques des directions régionales de la CNR

■ ■ ■ ● Les levés complémentaires

La CNR possède des équipes de topographes réparties dans les directions régionales. Ces équipes sont chargées d'effectuer des relevés bathymétriques ou terrestres.

Elles effectuent leurs levés dans la plupart des cas à l'aide de GPS. Les résultats bathymétriques sont ensuite intégrés dans des bases de données type ORACLE et gérés globalement au niveau de la CNR à l'aide d'une application CNR nommée "Bathy".

Ces résultats sont ensuite extraits et intégrés dans les modèles mathématiques de la CNR.

■ Données descriptives

Ces données ont été digitalisées. Elles apportent un grand nombre d'informations quant à la connaissance du domaine de la CNR.

- localisation des ouvrages principaux (usines, barrages, écluses ainsi que les caractéristiques principales
- Localisation des stations de mesure hydrométriques, des stations de pompage ... et leurs caractéristiques principales
- Localisation des îlons, des digues et des points particuliers
- etc..

La diffusion externe (plusieurs dizaines de destinataires) posait à l'extrême le problème de duplication des documents papier nécessitant la production de milliers de plans.

Le choix a été fait d'une diffusion Extranet (diffusion externe entre partenaires en utilisant le protocole Internet). Un site a été développé en collaboration avec l'éditeur

■ Les données spécifiques provenant des études hydrauliques

● L'architecture des modèles mathématiques.

Cette étape s'est déroulée de 1999 à 2000. Elle a consisté à répertorier puis à saisir toutes les caractéristiques (4 200 profils en travers, 600 champs d'expansion, 1 200 liaisons entre zones d'inondation etc...) des modèles mathématiques développés par la CNR.

La CNR dispose aujourd'hui de la cartographie complète du fonctionnement du Rhône et de ses principaux affluents de Génissiat jusqu'à Tarascon (restitution de Vallabrègues).

● Les résultats des simulations hydrauliques

Parallèlement des passerelles de récupération des données issues du logiciel CNR de calcul hydraulique "CRUE" ont été développées pour l'intégration au SIG. Elle associent aux éléments de l'architecture des informations attributaires qui permettent d'avoir une visualisation dynamique des champs d'inondation via des liens ODBC (fichiers excel issus de "CRUE", bases de données Oracle et Access).

Des cartographies de hauteur d'eau, de vitesses ont été réalisées sur tout le Rhône d'après les scénarios définis par le maître d'ouvrage.

Des animations à partir d'images issues du SIG ont permis de visualiser la propagation de la crue dans le temps.

■ Diffusion Extranet (Internet & ARCIMS)

La diffusion externe (plusieurs dizaines de destinataires) posait à l'extrême le problème de duplication des documents papier nécessitant la production de milliers de plans.

Le choix a été fait d'une diffusion Extranet (diffusion externe entre partenaires en utilisant le protocole Internet).

Un site a été développé en collaboration avec l'éditeur du logiciel SIG. Il est accessible sous réserve d'autorisation.

Les personnes habilitées sont les différents partenaires de l'étude ainsi que les responsables des administrations, des collectivités territoriales concernées.

La mise à disposition des résultats sur un site via Internet facilite la mise à jour régulière et donc un gain de temps très important pour la diffusion d'informations.

Les avantages sont les suivants :

- Plus de reprographie importante
- Des bases de données à jour au même moment pour tous

les interlocuteurs.

- Des possibilités d'analyse et de requête
- Des possibilités de zoom
- Une quantité d'informations beaucoup plus importante et précise que sous forme papier

Présentation du site

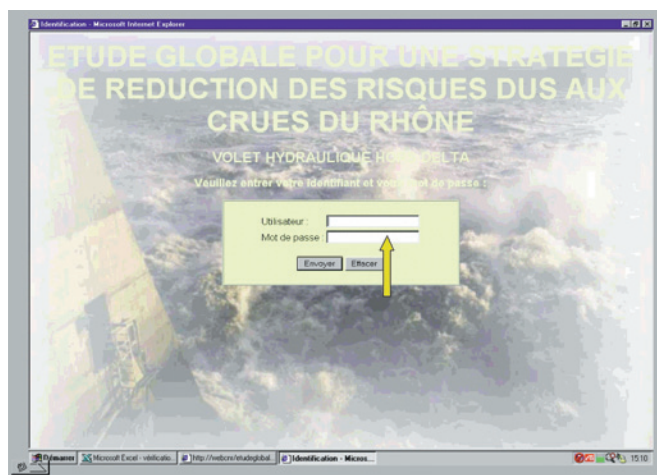


FIGURE 6 : Page d'accueil du site CNR
Accès limité par mot de passe

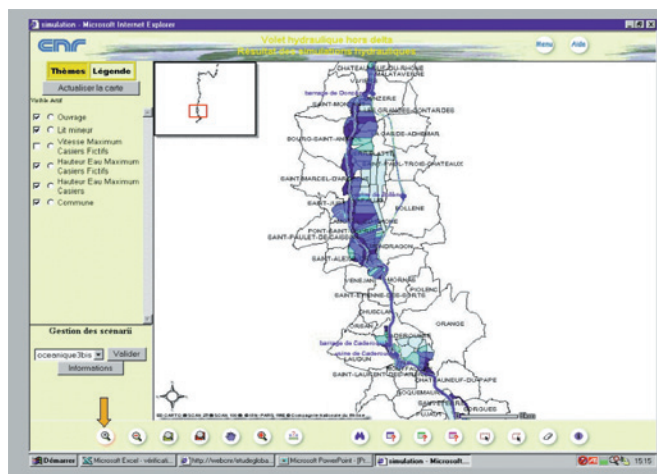


FIGURE 7 : Affichage des simulations hydrauliques

Page interactive permettant la navigation, les requêtes, l'affichage de tables de résultats.

■■■

■■■ Evolution future du SIG

■ Etudes 3D

La représentation sur des cartes traditionnelles semble avoir ses limites. Des problèmes de compréhension subsistent encore chez les non spécialistes. L'arrivée sur le marché de nouveaux outils cartographiques 3D ouvre aujourd'hui des horizons nouveaux. En effet de plus en plus de clients sont demandeurs de calculs et représentation dans l'espace afin de mieux évaluer l'impact d'un projet ou d'une situation sur un environnement donné.

La possibilité d'acquérir pour un prix et un délai raisonnable des données très précises en ce qui concerne les modèles numériques de surface et les orthophotographies permet d'envisager l'exécution d'études en 3 dimensions afin d'affiner les résultats des calculs. En effet dans le domaine de l'inondation un modèle numérique de terrain doit toujours avoir une très grande précision en regard du faible relief des plaines inondables.

Des limites de champ d'inondation, des cartes d'aléas et de vitesses peuvent être alors élaborées tout en gardant bien à l'esprit que ce ne sont que des simulations.

Des outils de visualisation permettent de créer des simulations dans l'espace et dans le temps et peuvent être exportées au format vidéo (mpg, avi) ou VRML pour une utilisation Internet. La CNR s'est déjà engagée dans cette nouvelle voie qui lui permet d'aller toujours plus avant dans la connaissance et la prévention des risques majeurs.

Conclusion

La constitution d'un SIG aura permis à la CNR :

- De synthétiser une multitude de renseignements disparates sur son domaine.
- D'homogénéiser la représentation de ses modèles mathématiques.
- D'avoir une vision spatiale des résultats des simulations.
- De faciliter leur communication et leur diffusion.
- D'améliorer les processus de contrôle et de mise à jour.

La CNR est en mesure aujourd'hui grâce au couplage de ses modèles mathématiques et des logiciels de SIG de cartographier les risques d'inondation du Rhône de Chancy-Pougny (frontière Suisse) à Tarascon.

Dans le cadre de l'étude globale pour une stratégie de réduction des risques dus aux crues du Rhône, les solutions mises en place ont permis de mieux comprendre mais aussi et surtout de communiquer aux partenaires les risques potentiels des inondations sur le Rhône. Elles participent activement à la prise de décision quant à des choix de gestion ou d'aménagement du territoire.

Son expérience permet à la CNR de proposer un savoir-faire pour la mise en place de SIG dans ses différents domaines d'activité liés à l'hydraulique, à l'hydrologie, à l'environnement, au génie civil, à la gestion domaniale, aux réseaux mais aussi à la topographie. ●

MICHEL GARCIA DIRECTION DE L'INGÉNIERIE TECHNIQUE DE LA CNR
DÉPARTEMENT HYDRAULIQUE ET HYDROLOGIE

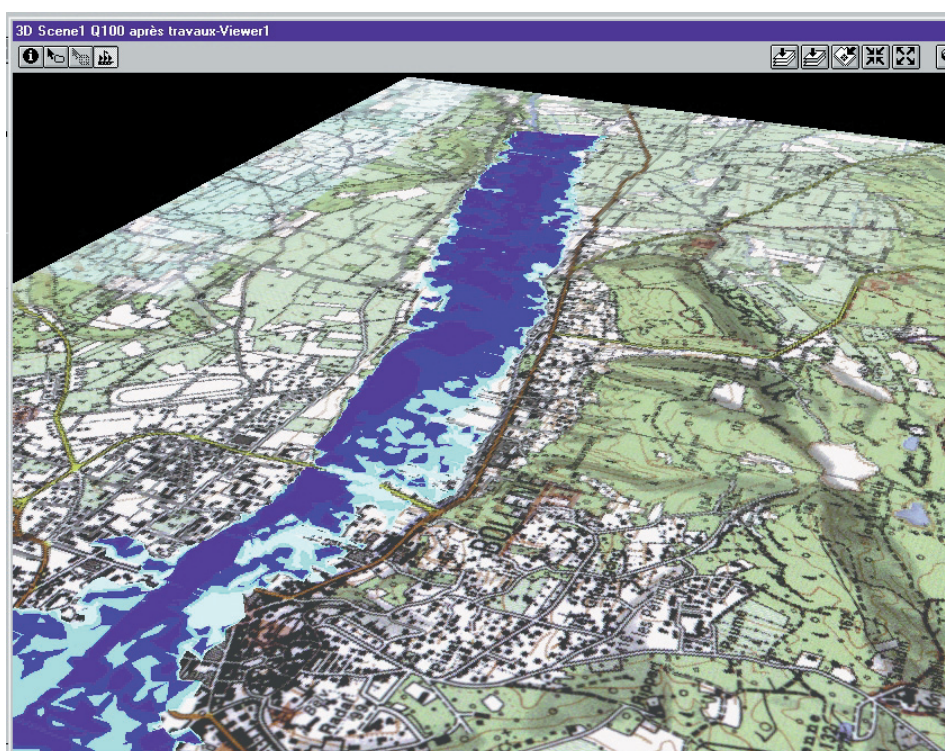


FIGURE 8 : cartographie 3D de l'aléa hydraulique dans la traversée de Bollène

ABSTRACT

The Compagnie Nationale du Rhone in charge of the Rhone River since 1933 has developed a GIS related to hydraulic applications.

It is used to map results coming out of mathematics river models.

This GIS has been elaborated with different types of data, including orthophotography, photogrammetric, aerial or land surveys.

An Extranet site has been developed to spread quickly the information.

This approach leads to new methods in the information management.

La mouche tsé-tsé sous haute surveillance

Cartographie des paysages épidémiologiques de la maladie du sommeil par télédétection et analyse spatiale

■ Dominique LAFFLY & Jean-Pierre HERVOUËT

La maladie du sommeil – Trypanosomiose Humaine Africaine (THA) – est une pathologie à transmission vectorielle qui sévit dans la zone intertropicale en Afrique. Elle est transmise par une glossine communément appelée mouche tsé-tsé. Les systèmes de santé ne parviennent plus à assumer leur rôle préventif bien que la situation soit très préoccupante. Alors que seulement 30 000 nouveaux cas sont notifiés chaque année, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime à plus de 500 000 le nombre de malades sur les soixante millions d'individus concernés potentiellement. Dans ce contexte alarmant – où il ne faut pas confondre absence de données sur la maladie avec absence de la maladie elle-même – il est impératif de pouvoir préciser là où il est prioritaire d'agir en identifiant les foyers potentiels afin de mettre en place les stratégies sanitaires adaptées. Des facteurs de risque ont été mis en évidence soulignant l'adéquation entre la fréquence et la qualité des contacts homme/vecteur et les taux de prévalence de la maladie. Sous certaines conditions, nous pouvons envisager de traduire en termes d'indicateurs géographiques – paysagers – une partie de ces facteurs pour produire des cartes de probabilités des risques. Pour cela nous nous appuyons sur une chaîne de traitement de l'information géographique faisant appel aux relevés de terrain, à la télédétection et à l'analyse spatiale. L'exemple que nous développons ici s'instruit de recherches menées en Côte d'Ivoire.

■ MOTS CLES

Trypanosomiose humaine africaine, paysage, système d'information géographique, global positioning system, télédétection, analyse spatiale.

Une situation alarmante

La Trypanosomiose Humaine Africaine (THA) est aujourd'hui "reviviscente" dans de nombreux pays d'Afrique tropicale humide. D'après l'OMS, 30 000 nouveaux cas sont notifiés chaque année dans les 36 états situés au sud du Sahara concernés par cette maladie où 60 millions de personnes sont exposées au risque. Parmi celles-ci, 3 à 4 millions, seulement, sont sous surveillance effective ; au total, 500 000 d'entre elles seraient actuellement infectées et vouées à une mort certaine en l'absence de prise en charge et de traitement.

Contrairement à une idée couramment admise, la maladie ne se développe pas seulement là où elle a déjà sévi. En Côte

d'Ivoire, par exemple, les plus gros foyers des dernières décennies se sont implantés dans des espaces jusque-là indemnes (Hervouët, Laffly, Cardon 2000). Le Programme National de lutte ne peut donc pas s'appuyer sur la cartographie des anciens foyers pour asseoir une surveillance efficace et le problème majeur d'un tel programme est de préciser "où agir en priorité" en l'absence d'informations médicales fiables et précises. De plus, les structures de soins en place ne peuvent ni jouer un rôle de sentinelles, ni participer valablement au contrôle de la maladie du sommeil.

Vaincre la maladie du sommeil implique alors que l'on puisse disposer de données permettant d'apprécier

l'étendue réelle, la gravité de l'endémie et la localisation des cas. Aujourd'hui, la plus grande partie des malades dépistés l'est là où interviennent des équipes de recherche venant en appui aux structures nationales. La distribution des cas qui en résulte traduit plus l'activité de ces équipes que la répartition réelle de la maladie. Par suite, le risque de confondre absence d'information sur la maladie et absence de la maladie du sommeil elle-même est grand. Il est donc illusoire, en termes de prévention et de santé publique de s'appuyer sur ces données pour organiser la lutte.

La situation serait désespérée si la maladie du sommeil était une pathologie "inéluçtable" dès lors que vecteur, parasite et réservoir de ce dernier cohabi-

■■■

■■■ taient dans un espace donné, permettant au "complexe pathogène" (Sorre, 1933) de s'exprimer. Heureusement, le développement de cette maladie traduit l'inadéquation des modalités de gestion d'un milieu par les populations aux potentialités épidémiques de celui-ci (Hervouët & Laveissière, 1987). De ce fait, les foyers de THA présentent des "signatures spatiales" identifiables. L'analyse des facteurs de risques autres que géopolitiques, médicaux, entomologiques ou génétiques (inaccessibles ou inexistantes), permet de dégager des "indicateurs géographiques de risque" opérationnels. Dans ces conditions, télédétection et analyse spatiale doivent permettre, d'une part, de caractériser les faciès épidémiologiques et de hiérarchiser les espaces à risques, et, d'autre part, de prédire l'apparition de nouvelles zones à risques afin de pouvoir placer les services de santé publique à l'amont de la maladie.

Des facteurs aux indicateurs de risque

Le parasite responsable de la maladie est un protozoaire (*Trypanosoma brucei* en Afrique occidentale et centrale, *Trypanosoma brucei rhodesiense* en Afrique orientale et australe) transmis d'un homme infecté à un homme sain par une mouche hémato-phage - la mouche tsé-tsé - dont certaines espèces seulement sont vectrices (en Afrique Occidentale, il s'agit de *Glossina palpalis* et de *Glossina tachinoides*) (Carrier et al. 1980). En forêt primaire, du fait de l'absence de ces espèces, les conditions permettant la transmission ne sont pas réunies (Laveissière et Kienon, 1979). C'est l'activité humaine qui les crée à travers les modifications écologiques profondes qu'elle entraîne. *Glossina palpalis*, espèce particulièrement adaptative et à tendance anthropophile se répand alors dans l'ensemble des aires d'exploitation humaine (Hervouët et Laveissière, 1988). En Afrique Occidentale et Centrale, cette mouche ne peut s'infecter que sur un homme parasité et cela uniquement lors de son premier repas, pris peu après sa naissance, ce qui limite ses risques d'infestation. Devenue ensuite infectante, la mouche le restera

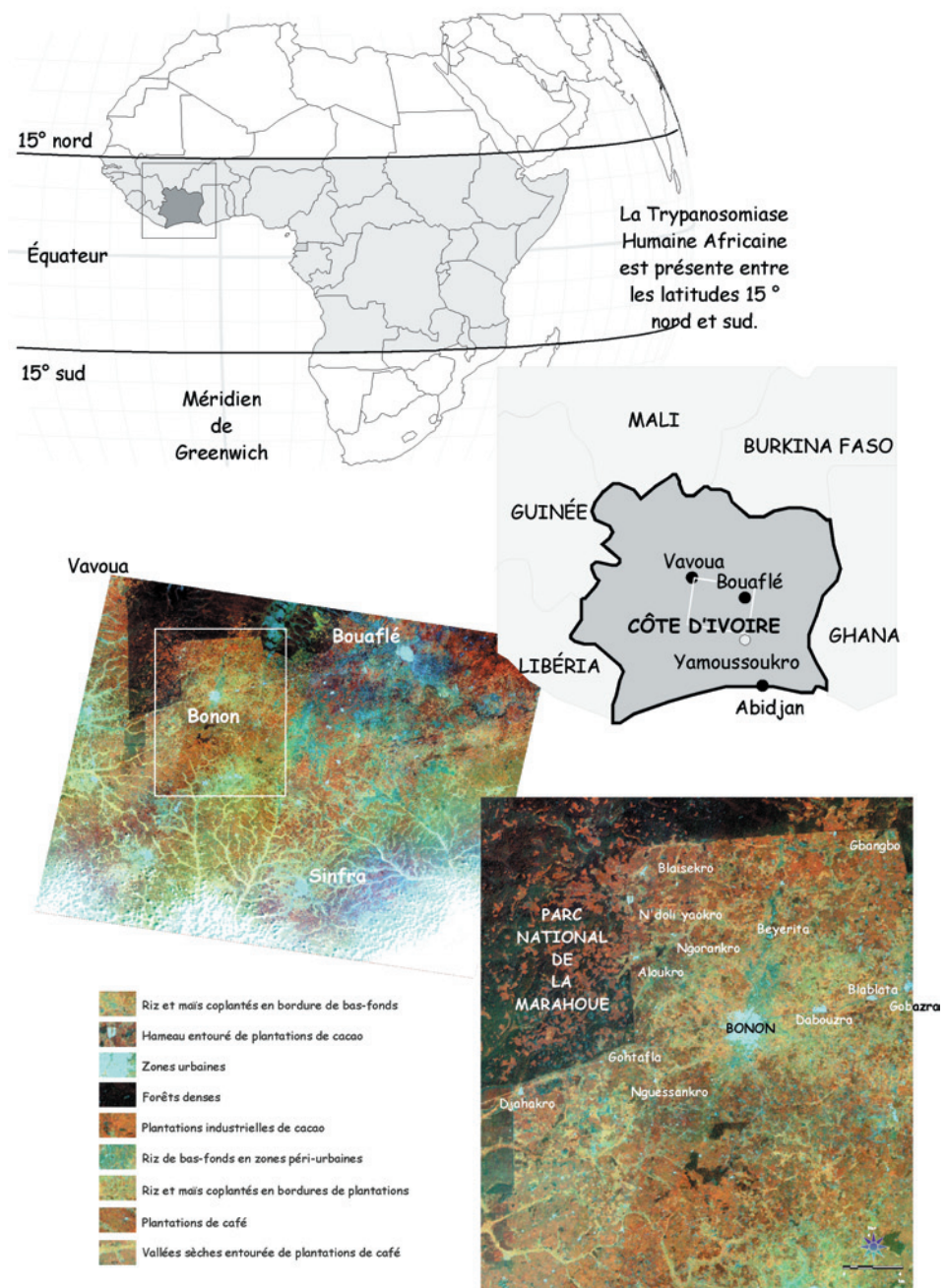


Figure 1 : les aires de répartition de la maladie du sommeil

Les espaces soumis à la maladie du sommeil sont constitués par les régions où la part de population résidant en campements est la plus grande. Pour l'ensemble de la zone forestière ivoirienne, seulement 18 % de la population réside en campements, mais cette proportion monte à 34 % dans le Centre Ouest abritant



Rivière, lieu de vie



Une cabosse, le fruit du cacaoyer



Femmes et enfants aux champs



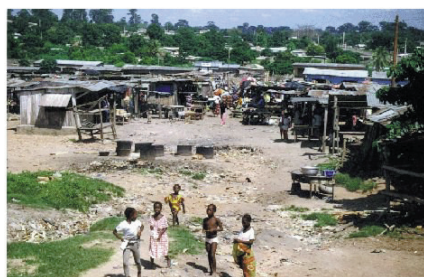
Bas-fond en milieu de forêt dégradée



Aire de séchage dans un hameau



Paysage ouvert entre forêt et plantation



Le village de Bonon



Aux abords des plantations



Sur l'aire de séchage d'un hameau



Champ de maïs en forêt dégradée



Séchage du cacao dans un campement



Case en construction dans un campement

Figure 2 : différents niveaux de perception des paysages : les paysages vus du dedans

toute sa vie, le trypanosome se reproduisant par scissiparité. L'ensemble de ces considérations entomologiques et parasitologiques ne permet cependant pas de rendre compte des disparités existant dans les distributions de la maladie, et surtout pas en fonction d'une classification simple des divers faciès botaniques.

Le risque n'existe que dans la mesure où l'homme fréquente les gîtes à glossines mais la "transmission de la THA n'est pas strictement liée à l'abondance des tsé-tsé [...] de petites populations

de glossines entretenant des relations intimes, fréquentes et presque exclusives avec l'homme, font plus de ravages que des populations importantes [...] inféodées à d'autres hôtes que l'homme" (Laveissière et al., 1997).

La conjonction des contacts homme/glossine, des déplacements de populations à l'intérieur de leurs aires d'activité et des possibilités d'introduction du parasite rend compte des risques encourus par les diverses catégories sociales des différents groupes ethniques (Hervouët, 1992). On sait par

ailleurs que, en Côte d'Ivoire forestière,

- La THA contemporaine suit un boom démographique considérable alimenté par une très forte immigration. Dans les foyers, le taux de croissance annuel de la population est passé de 2,2 % l'an entre 1955 et 1963 à 6 % entre 1963 et 1975 pour atteindre 7 % entre 1975 et 1988. Il en est résulté des situations sociales bien particulières et cela place la Côte d'Ivoire dans une situation spécifique par rapport à d'autres foyers d'Afrique Occidentale – Guinée Forestière et littorale – ou de l'Afrique Centrale.

■ ■ ■



Campement et plantation de café



Aire de séchage



Sentier en zone de plantation

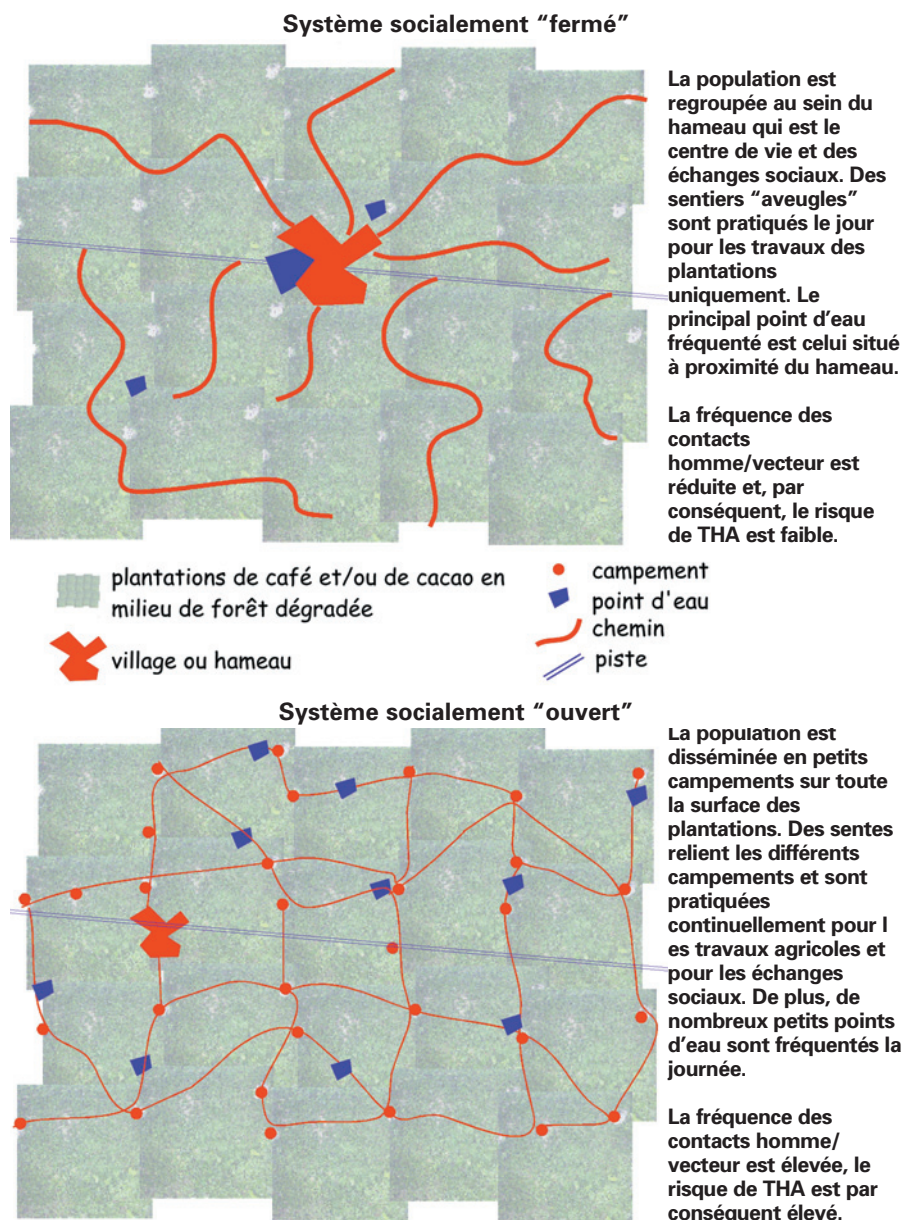
Figure 2 : différents niveaux de perception des paysages : ...et les paysages vus du dessus

■ ■ ■ ● Les espaces soumis à la maladie du sommeil sont constitués par les régions où la part de population résidant en campements est la plus grande. Pour l'ensemble de la zone forestière ivoirienne, seulement 18 % de la population réside en campements, mais cette proportion monte à 34 % dans le Centre Ouest abritant les foyers de Vavoua, Bouaflé, Zoukougbeu, Sinfra... (fig. 1). Dans les foyers eux-mêmes, cette proportion dépasse presque toujours 50 % pour atteindre parfois 75 %.

● Ces campements, nombreux, sont petits et installés au cœur de plantations dépassant rarement 8 à 10 ha (fig. 3).

● La maladie du sommeil est liée également aux densités de population. Ainsi, elle ne se développe pas ou peu en dessous d'un seuil démographique situé aux alentours de 10/20 hab./km utilisés, pas plus qu'elle n'est fonctionnelle lorsque ces densités dépassent 80 à 100 hab./km².

De fait, la maladie du sommeil est essentiellement présente dans des espaces en recomposition foncière et sociale où mobilités, partages des lieux – comme les points d'eau – entraînent des contacts homme/vecteur denses et réguliers. Ces espaces traduisent des liens intimes et complexes et un mode de fonctionnement systémique que nous assimilons à des paysages épidémiologiques se différenciant en deux modes : des paysages socialement fermés aux risques réduits en opposition

**Figure 3 : schéma théorique des paysages épidémiologiques en milieu forestier**

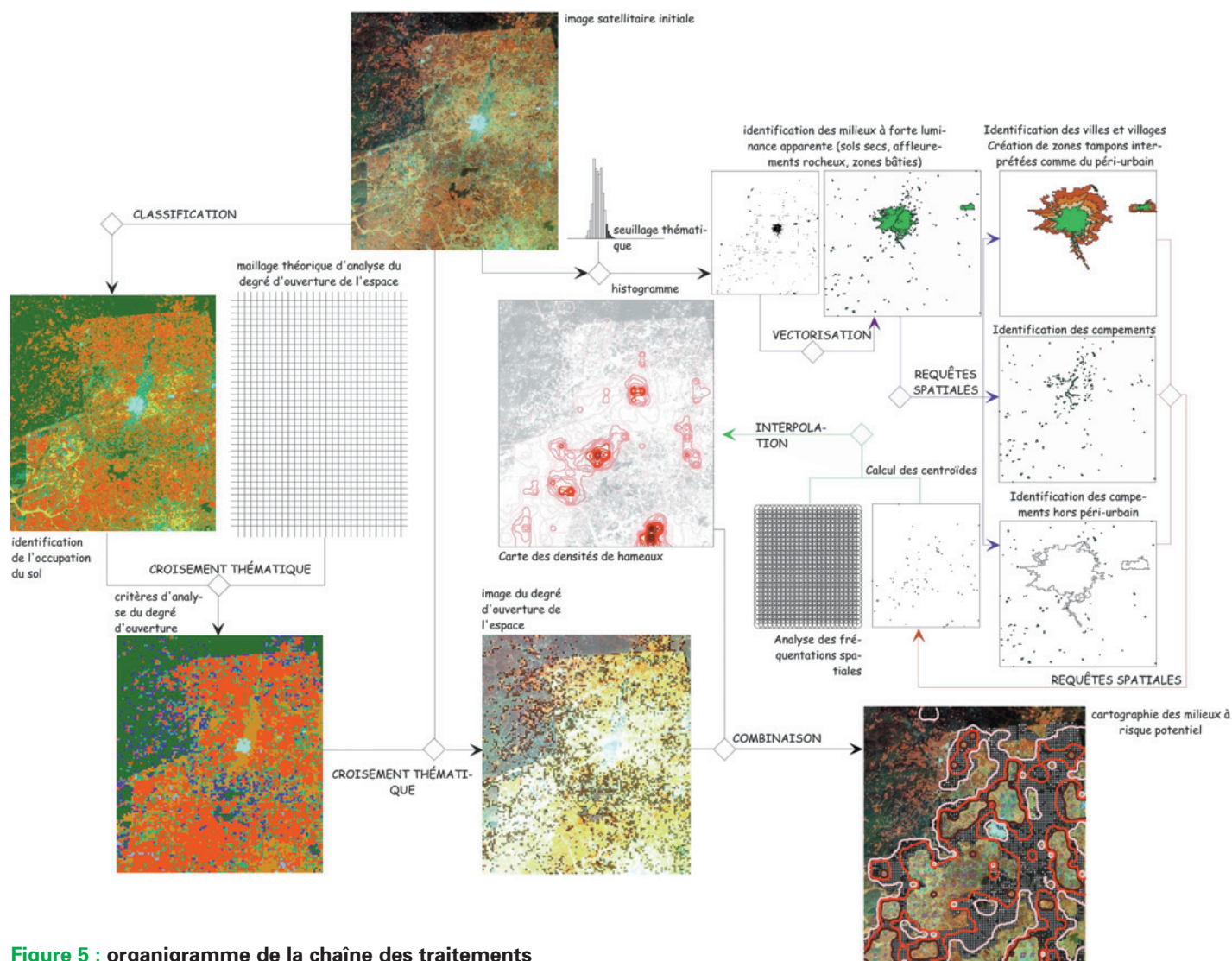


Figure 5 : organigramme de la chaîne des traitements

■ ■ ■ l'image) nous mettons en place un traitement particulier afin de tenter d'isoler ce qui est campement et hameau des autres thèmes potentiels. Dans ce but nous faisons appel à différentes fonctions de vectorisation, de création de zones tampons et de croisement de couches vectorielles. Tous les objets dont la surface est inférieure à 1 600 m² (4 pixels), dont la forme n'est pas linéaire (éviter les confusions avec les routes et pistes) et distants au moins de 300 m d'objet de même type (espaces construits et autres thèmes associés) dont la surface est supérieure à 40 000 m² (ce que nous supposons être un village ou une ville) est considéré comme campement ou petit hameau non situé en zone péri-urbaine (où les facteurs de risques sont différents). D'autre part, la production de cartes de densités de population fait appel à une analyse particulière (fig. 6). Il s'agit, à partir d'un semis de points (localisation

des campements), de générer une surface continue à partir d'une valeur associée à chaque point. Ce traitement d'interpolation ou d'extrapolation spatiales est couramment utilisé en analyse d'images, d'ondelettes et autres données spatialisées. Cependant, selon les modes de calcul (linéaire, polynomiale, spline...) les résultats se différencient nettement et, pour un même mode de calcul ils sont encore radicalement différents selon la logique avec laquelle le calcul a été appliqué (fig. 7). Nous retenons une méthode associant la création d'un semis de points régulièrement répartis qui serviront de cellules élémentaires à partir desquelles sera calculée une densité selon un cercle de fréquentation (ce cercle se déplace de cellules en cellules, le calcul est réitéré à chaque nouvelle position). Une image en isolignes (interpolation) sera obtenue in fine à partir des valeurs associées à chaque cellule (par exemple,

densité de campements, de malades, de populations...).

Dans le secteur de plantations de café et cacao en forêt dégradés nous avons retenus une répartition des cellules élémentaires tous les 500 m et un cercle de fréquentation de l'ordre du kilomètre de rayon. Ces paramètres sont déduits empiriquement des connaissances des spécialistes et des différents essais de calcul.

Enfin, la combinaison de tous les résultats obtenus nous permet de présenter la cartographie recherchée : identification des zones à risque de la maladie du sommeil (fig. 8). Entendons bien qu'il ne s'agit pas d'une carte présentant les secteurs où il y a forcément des malades mais de secteurs dont le paysage (interface homme/nature) est identifié comme potentiellement à risque. C'est-à-dire que les probabilités de fréquences de contacts réguliers ■ ■ ■

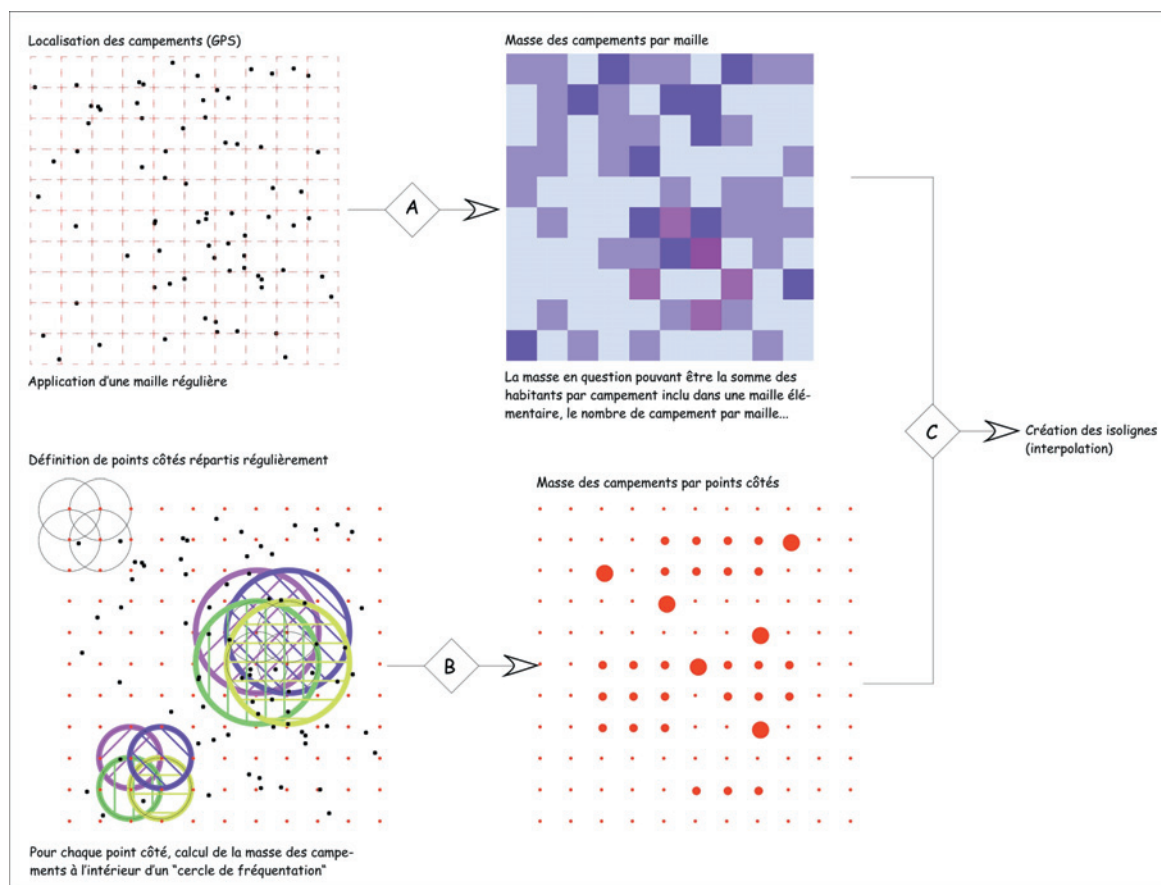


Figure 6 : Du point à la surface, différentes méthodes pour prendre en compte la "fréquentation" de l'espace géographique

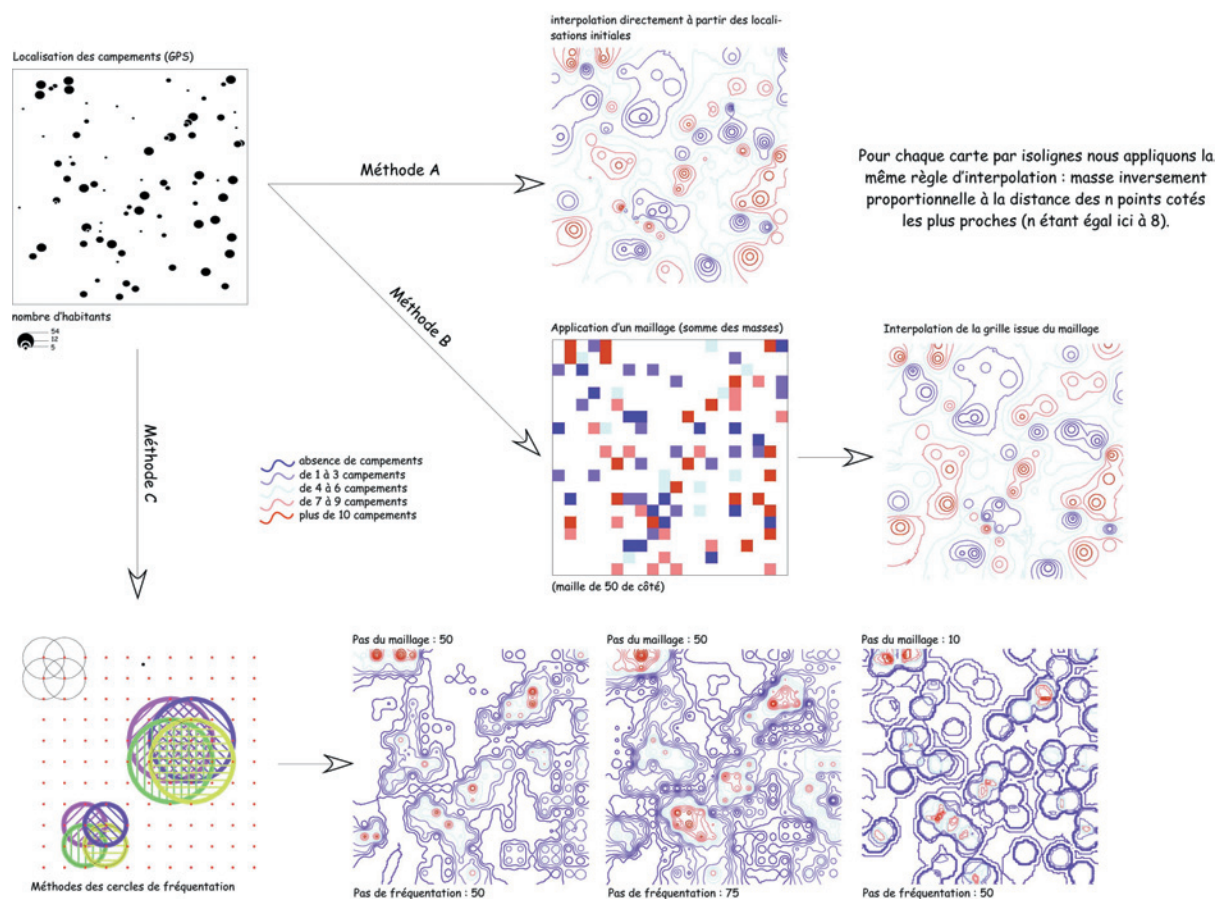


Figure 7 : Le choix d'une méthode de spatialisation

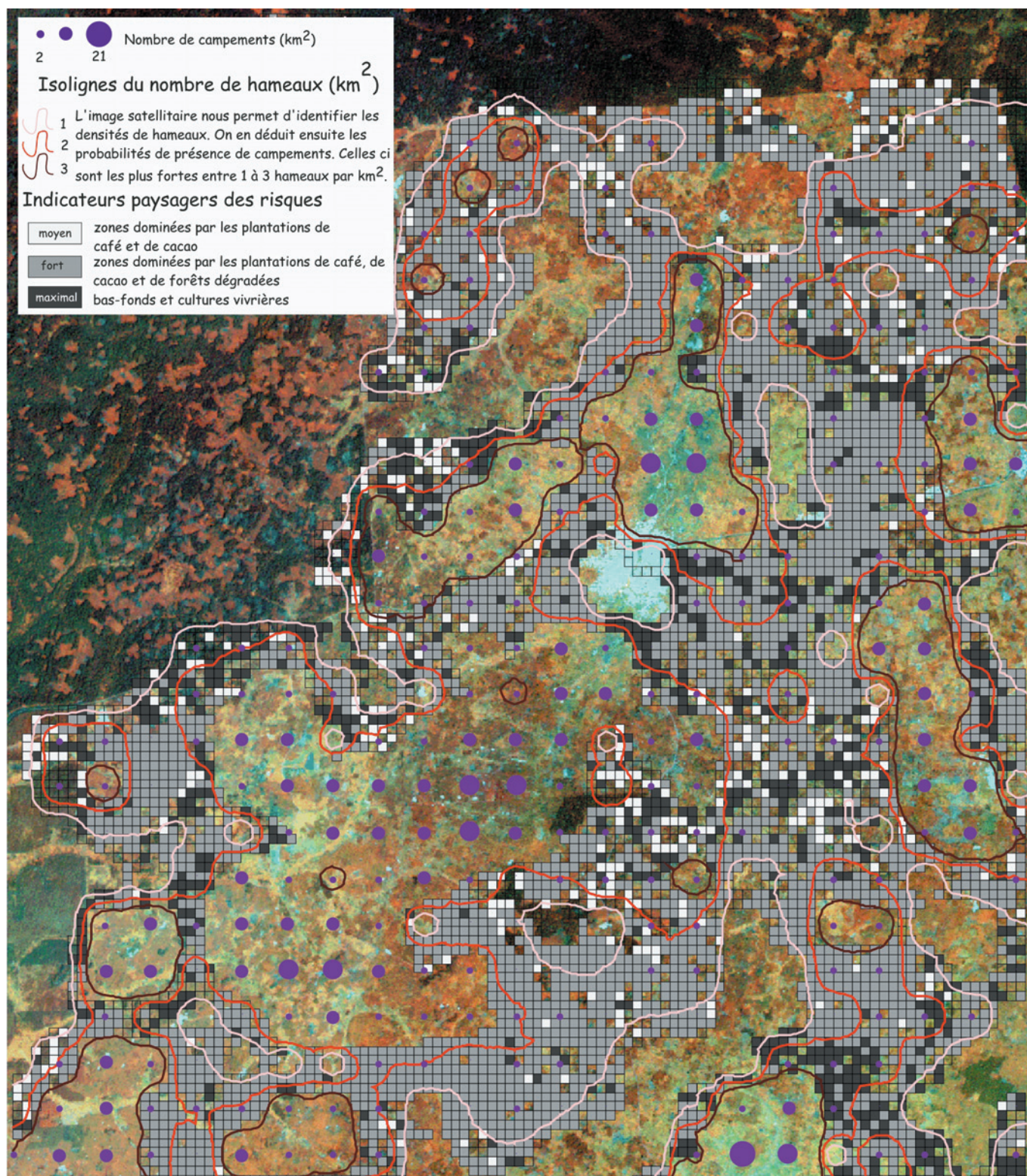


Figure 8 : Cartographie des zones à risques potentiels de THA

entre la mouche tsé-tsé est l'homme y sont fortes.

Les perspectives

Les résultats obtenus nous semblent intéressants et prometteurs bien que la

méthode présentée demande à être améliorée. Nous envisageons pour cela d'avoir recours à des images satellitaires de meilleures résolutions spatiale et spectrale (combinaison XSP d'images Spot XSI, par exemple) tout en affinant les données de terrain. Un GPS avec trai-

tement différentiel sera utilisé au cours des prochaines missions afin d'obtenir une localisation plus précise des pistes et campements parcourus. En parallèle nous poursuivrons nos enquêtes auprès des populations locales afin de mieux identifier leurs pratiques de l'espace et

tenter de dégager de nouveaux facteurs de risque traduisibles en indicateurs pay-sagers opérationnels. Cependant, n'oublions pas qu'en matière de politique de santé publique, toute opération de veille sanitaire est motivée par les volontés – donc les financements – clairement annoncées. Ce qui est loin d'être le cas actuellement à la différence de ce qui se passe pour les recherches sur la Trypanosomiase Animale (**de La Rocque et al.**) : il est vrai que l'on peut mieux évaluer la valeur économique d'un troupeau que celle d'un enfant et de sa mère, perdus dans une plantation forestière. ●

Contact

SET UMR 5 603 CNRS
Avenue du doyen Poplawski
64 000 Pau
dominique.laffly@univ-pau.fr
jean-pierre.hervouet@univ-pau.fr

Références bibliographiques

Baudouhat M.-J., Diomandé Y., Hussard A., N'guessan-blé S., Hervouët J.-P. & Vessier M., 1998, "Un SIG pour la lutte contre la maladie du sommeil", F. Blomac éd. Hermes, Paris, pp. 53-54

Carrié J., Challier A., Durant B., Duvallet G. & Laveissière C., 1980, "La Trypanosomiase Humaine à *Trypanosoma (Trypanozoon) gambiense* Dutton et ses vecteurs en Afrique Occidentale et Centrale", Études médicales n°1, 59 p.

de La Rocque et al. 2001, *Le risque trypanosomien : une approche globale pour une décision locale : du satellite au microsatellite*. CIRAD/CIRDES, Montpellier/ Bobo Dioulasso, 151 p.

Hervouët J.-P., 1995, "La lutte contemporaine contre la maladie du sommeil : un SIG outil indispensable à la décision", actes du colloque AfricaGIS'95, pp. 521-523.

Hervouët J.-P. et Laveissière C., 1987, "Facteurs humains de la maladie du sommeil", *La medicina Tropicale nella Cooperazione allo Sviluppo*, 3, (2), pp. 72-78.

Hervouët J.-P. et Laveissière C., 1987, "Les grandes endémies : l'espace social coupable", *Politique Africaine*, (28), pp. 21- 32.

Hervouët J.-P. et Laveissière C., 1988, "Écologie humaine et maladie du sommeil en Côte d'Ivoire forestière", *Cah. ORSTOM, sér. ent. méd. et Parasitol.*, 25, (sp), pp. 101-111.

Hervouët J.-P., 1992, "Environnement et grandes endémies, le poids des hommes", *Afrique contemporaine*, (161), pp. 155-167.

Hervouët J.-P., et Vessier M., 1998, "Analyse spatiale et représentation des phénomènes épidémiologiques. Adaptation d'une méthode géographique ancienne", *Note méthodologique*. N°04/IPR/SHS/DOC 1998, 11 p. 15 cartes.

Hervouët J.-P., Laffly D., Cardon L., 2000, "La maladie du sommeil en Côte d'Ivoire : à la recherche d'indicateurs de risque", *Espace Population Société*, (2) pp. 20-30.

Laffly D. & Hervouët J.-P., 2000, "Une mouche dans le capteur. Identification de facteurs de risque de la Trypanosomiase Humaine Africaine par télédétection et analyse spatiale", *Espace Population Société*, (2) pp. 35-45.

Laveissière C et Kienon J.-P., 1979, "Effets de l'accroissement des activités humaines sur la forêt du sud ouest de la Côte d'Ivoire", *Enquête sur les glossines de la forêt de Taï, OCCGE/Centre Muraz/ENT/79*, pp. 1-8.

Laveissière C., Sané B., Dialla P.B., Truc P. & Média A.H., 1997, "Le risque épidémiologique dans un foyer de maladie du sommeil en Côte d'Ivoire", *Trop. Med. Intern. Health*, 2, (8), pp. 729-732.

OMS, 1996, "Trypanosomiase Africaine, Rapport Annuel", Genève, 32 p.

Sorre M., 1933, "Complexes pathogènes et géographie médicale", *Annales de géographie* n° 235, pp. 1-18

ABSTRACT

KEY-WORDS : african human trypanosomiasis, landscape, geographical information system, global positioning system, remote sensing, spatial analysis.

Sleeping sickness African Human Trypanosomiasis is a vectorial transmission pathology in African's intertropical area. It's transmitted by a glossine called tse-tse fly. Even if the sanitary situation is worrying sanitary organization are not yet able to assume their preventive role. Even when only 30,000 new sick are notified for a 60,000,000 potentially population concerned more than 500,000 sick are really estimated by international health organization. In that alarmist situation it's important to not confuse absence of sickness information with absence of the sickness. It's particularly necessary to indicate where it's priotary to look for sickness center to supply sanitary field strategy. Some risk factors have been observed they illustrate links between quality and frequency of human/vector contacts and the prevalence rate of sickness. For particular conditions we able to translate in terms of geographical indicators a part of these factors to produce probability maps of risk. For that we follow an methodological chain that combine field data, remote sensing and spatial analysis. We present in that paper some results obtained from research in Ivory Coast.

Nouvelle précision des récepteurs GPS de poche

■ Paul COURBON Ingénieur IGN, géomètre-expert

Depuis 2001, la suppression de certaines dégradations volontaires des signaux émis par les satellites a amené une très sensible amélioration de la précision des GPS de poche. Il était intéressant de faire une série de mesures sur des points déjà connus avec précision. A condition de faire les calages adéquats, la précision des récepteurs GPS de poche est étonnante.

■ MOTS CLES

GPS de poche, dégradation, écart-type, étalonnage.

Rappel

Peut-on dire que le GPS soit l'enfant de l'ambitieux programme américain de la guerre des étoiles ? Il y a plus de trente ans, on avait eu l'idée de se servir des satellites pour se positionner sur terre. L'IGN, entre autres, s'était attaqué au problème de la géodésie spatiale avant 1970. Mais, la technique débutante, le nombre restreint de satellites, leur basse altitude (800 km pour 20 000 aujourd'hui), des moyens de calcul qui n'étaient pas ceux actuels, avaient rendu cette gestation laborieuse. Malgré les recherches entreprises, la précision était de l'ordre de 5 mètres, puis elle devint métrique, ce qui était incompatible avec une géodésie de précision, mais permettait de mieux orienter un réseau national. C'est ce qui avait été fait lors de l'élaboration de la géodésie jordanienne à laquelle j'avais participé en 1983.

Le GPS (Global Positioning System), démarra en 1978 avec le lancement d'un premier satellite. Les programmes de calcul ont été faits en 1980. Ils avaient été conçus pour 1024 semaines, ce qui créa des problèmes d'actualisation en août 1999. Problèmes qui furent résolus avec ceux dus au passage au troisième millénaire.

Au départ, ce programme avait été conçu dans un but de navigation, avec une précision absolue de 20 mètres, dans un système de référence mondial

et une précision horaire d'une micro-seconde.

Cependant, il fallut attendre 1985 pour que les 11 satellites de la première tranche soient lancés et que le système devienne quasi opérationnel. Mais au départ, ce nombre restreint de satellites, des moyens informatiques et électroniques qui n'étaient pas les moyens actuels, rendaient les observations longues et laborieuses. Le nombre insuffisant de satellites rendait de nombreuses périodes inobservables pour les déterminations de précision.

A partir de 1989, et, jusqu'en 1993, une série de 28 satellites fut lancée. Le système fut déclaré pleinement opérationnel en février 1994.

■ Le GPS différentiel

Le GPS ayant été créé à des fins militaires, malgré les recommandations du congrès américain, ces derniers voyaient d'un œil méfiant son utilisation par les civils. Aussi, l'armée américaine généra-t-elle des dégradations volontaires sur les signaux émis, de manière à limiter la précision. Mais, la parade vint très vite avec un procédé différentiel. C'est-à-dire qu'on imagina de travailler avec deux GPS : Un GPS fixe qui permettait d'enregistrer toutes les variations en un point et un autre GPS qui se déplaçait sur les points à déterminer. Les altérations étant les mêmes sur les deux GPS, une parfaite

synchronisation permettait de les annuler par différence. En se calant sur un ou plusieurs points connus, on obtint ainsi rapidement des précisions centimétriques qui rendaient caduques les altérations générées par les militaires ! Il fallut attendre presque quinze ans pour que l'armée américaine se rende à l'évidence et supprime certaines dégradations devenues inutiles.

Cependant, ces dégradations n'étant pas les seules causes d'imprécision, le procédé différentiel est toujours employé pour toutes les mesures précises. Avec un GPS bi-fréquence différentiel, on obtient maintenant couramment des précisions de l'ordre de 5mm \pm 1mm/km. Lors de reprises de mesures, un an ou deux après, il m'est souvent arrivé de retomber à 1 cm près sur des points situés à 10 km. D'ailleurs, des mesures d'une précision inférieure au centimètre ont été effectuées pour mesurer le déplacement des plaques terrestres et cela sur plusieurs centaines de kilomètres. C'est ce qui s'est fait, entre autres, entre la France et l'Espagne pour étudier les variations de la chaîne des Pyrénées. Mais dans ce cas, les temps de mesure sont beaucoup plus longs et les calculs demandent l'emploi de logiciels spéciaux.

Comme on s'en doute, la précision coûte cher. La paire d'un bon GPS bi-fréquence vaut plus de 45 000 € (300 000 F). Ce prix pose des problèmes, même aux professionnels.

Le GPS ayant été créé à des fins militaires, malgré les recommandations du congrès américain, ces derniers voyaient d'un œil méfiant son utilisation par les civils.

Aussi, l'armée américaine généra-t-elle des dégradations volontaires sur les signaux émis, de manière à limiter la précision. Mais, la parade vint très vite avec un procédé différentiel. C'est-à-dire qu'on imagina de travailler avec deux GPS : Un GPS fixe qui permettait d'enregistrer toutes les variations en un point

Les petits récepteurs GPS

Maintenant, l'emploi du GPS de poche s'est généralisé, démocratisé pourrais-je dire. Les promeneurs, excursionnistes et autres peuvent en acquérir sur le marché à moins de 300 € (2 000F)! N'importe qui, sans connaissance spéciale, peut se positionner sur une carte. Le marin n'a plus besoin de son sextant, et dans le désert, les concurrents du Paris-Dakar n'ont plus le droit de se perdre!

Le GPS a apporté un progrès énorme, mais il a fait perdre la part d'incertitude et l'acquis d'expérience qui, dans le désert par exemple, sont le sel de l'aventure...

Fin 1992, avant une expédition en Nouvelle-Guinée, on m'avait prêté une de ces petites merveilles récemment apparues sur le marché. J'étais allé la tester sur une dizaine de points IGN. J'avais eu des écarts compris entre 50 et 250 mètres.

Mais, il y eut des progrès. Quelques années plus tard, en employant un GPS en poste fixe et un autre itinérant, on pouvait annoncer 25 à 30 mètres de précision en essayant de bien caler les temps d'observation.

Début 2000, j'eus encore l'occasion d'utiliser un tel appareil. En restant à un endroit fixe, on pouvait constater les altérations créées par les militaires. En un quart d'heure, les coordonnées variaient de près de 100 mètres, allant et venant autour d'une position moyenne.

La fin des messages d'erreur

En 2001, l'armée américaine cessait d'émettre certains messages d'erreur qui altéraient les signaux. J'ai voulu alors voir quelle en était la conséquence sur les petits GPS et contrôler si la précision affichée (3 à 5m) était réelle. En compagnie de Jean-Pierre Lucot, j'ai fait 37 mesures, sur deux points IGN et sur des points que j'avais préalablement mesurés avec un GPS bifréquence LEICA, de précision centimétrique. Par rapport à ce que j'avais vu précédemment, j'ai été stupéfait, j'ai obtenu une précision que je n'aurais jamais osé imaginer.

Tests de mai et juin 2001

Nous avons procédé en deux temps, de manière à bien faire apparaître, d'une part l'écart-type qui caractérise la précision et, d'autre part, les défauts de calage sur les différents référentiels employés en topographie.

■ L'écart-type

L'écart-type caractérise la précision d'une mesure. Il est issu de la théorie des probabilités et est défini dans l'étude de la courbe de Gauss.

Faisons n mesures $A_1, A_2, A_3...A_n$ d'une quantité A. Soit A_m la moyenne de ces mesures.

Formons les n différences : $e_1=(A_1-A_m)$, $e_2=(A_2-A_m)$, $e_3=(A_3-A_m)$, etc...qui définissent l'écart de chaque mesure par

rapport à la moyenne des mesures (A_m). C'est à partir de ces écarts que l'on va rechercher une définition de la précision. La précision est exprimée par l'écart-type, appelé autrefois erreur moyenne quadratique et nommé par les anglais "standard deviation". D'une manière mathématique, il a pour expression :

$$\text{Ecart-type} = \sqrt{\frac{(e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_n^2)}{n-1}}$$

■ L'étalonnage

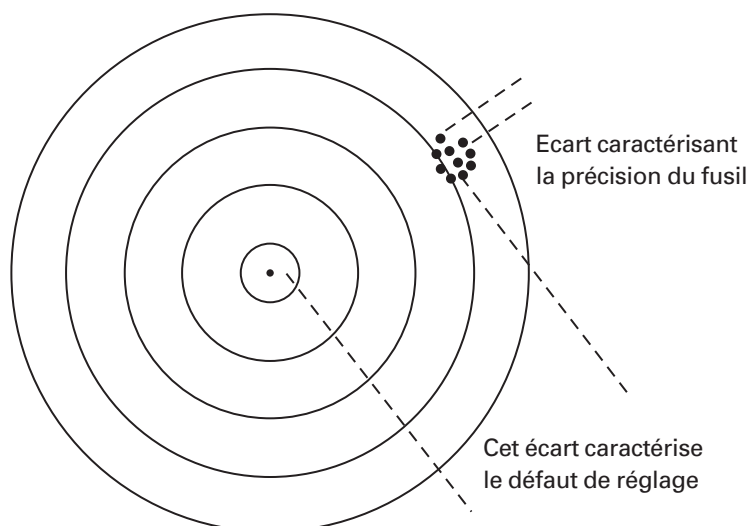
Une mesure peut être précise parce qu'elle fait partie d'une série où il y a peu d'écarts entre les différentes mesures. Mais, cette mesure peut-être éloignée de la valeur vraie, parce qu'il y a un défaut de réglage ou d'étalonnage de l'appareil. La façon la plus facile de le faire comprendre est l'exemple du tir au fusil sur une cible.

Visons une cible lointaine et coinçons le fusil dans un dispositif qui l'empêche de bouger. Tirons plusieurs coups. La distance étant lointaine et le fusil n'étant pas un instrument parfait, il n'y aura pas un trou unique, mais plusieurs trous regroupés dans un très petit espace. Mais cet espace n'est pas centré sur la cible, il va se trouver par exemple à 10 cm au nord-est du centre. Le regroupement des tirs dans un petit espace prouve que le fusil est précis. Cette précision sera calculée à partir de l'écart de chaque impact par rapport au point moyen. ■■■

- ■ ■ Le fait que le point moyen des impacts soit éloigné du centre de la cible prouve que la ligne de mire du fusil est mal réglée. Il suffira de faire le réglage adéquat (étalonnage) pour ramener le centre des points d'impacts sur le centre de la cible. Le fusil étant bien réglé, on pourra alors utiliser au mieux sa précision.

■ Premier test

Il a été effectué pour déterminer directement l'écart type. Nous avons mesuré 20 points, situés dans un rayon de 100 mètres; d'abord avec le GPS bi-fréquence LEICA, ce qui nous donnait une figure cohérente où les 20 points avaient une précision de 1cm les uns par rapport aux autres. Nous avons calé cette figure sur les coordonnées du point 1 donné par le petit GPS de poche. Nous étions ainsi dans le même système, calés d'une manière identique. Les écarts sur le point 1 étaient donc de 0.



Après réglage de la ligne de mire, toutes les balles seront proches du centre de la cible

Les écarts sur les autres points entre la mesure GPS de poche et la mesure LEICA étaient liés directement à la précision du GPS de poche. Nous en avons

déduit directement les écarts-types, donc la précision du GPS de poche. Lors des calculs en post-traitement, nous avons imposé au GPS LEICA de préci-

Test 1 : mesures du 20 mai 2001 - Secteur "Tête du Cade", au Beausset (Var).

N° Point	GPS de Poche			GPS / LEICA.bifréquence			Ecart Absolus		
	x (m)	y (m)	alt (m)	x (m)	y (m)	alt (m)	Dx (m)	Dy (m)	Dalt (m)
1	731258	4790779	517	731258.0	4790779.0	517.0	0.0	0.0	0.0
2	731248	4790775	517	731249.3	4790778.5	516.2	1.3	3.5	0.8
3	731253	4790785	517	731250.6	4790787.9	516.6	2.4	2.9	0.4
4	731249	4790783	517	731247.1	4790784.0	516.3	1.9	1.0	0.7
5	731244	4790793	517	731239.3	4790292.5	515.9	1.1	1.9	0.8
6	731240	4790793	517	731239.3	4790792.5	515.9	0.7	0.5	1.1
7	731239	4790806	517	731236.6	4790807.0	516.4	2.4	1.0	0.6
8	731234	4790800	517	731234.2	4790803.5	516.1	0.2	3.5	0.9
9	731218	4790808	516	731217.8	4790809.0	515.2	0.2	1.0	0.8
10	731214	4790803	516	731214.9	4790805.2	514.9	0.9	2.2	1.1
11	731210	4790817	516	731212.6	4790817.4	515.2	2.6	0.4	0.8
12	731211	4790815	516	731208.1	4790814.1	514.8	2.9	0.9	1.2
13	731204	4790824	516	731202.7	4790824.2	514.7	1.3	0.2	1.3
14	731199	4790822	516	731197.3	4790819.4	514.3	1.7	2.6	1.7
15	731196	4790831	515	731195.0	4790829.6	514.4	1.0	1.4	0.6
16	731195	4790830	515	731194.1	4790828.3	514.2	0.9	1.7	0.8
17	731181	4790840	514	731181.1	4790837.7	513.8	0.1	2.3	0.2
18	731178	4790836	514	731178.1	4790836.4	513.6	0.1	0.4	0.4
19	731172	4790845	513	731172.0	4790842.4	513.4	0.0	2.6	0.4
20	731170	4790840	513	731170.5	4790837.3	513.2	0.5	2.7	0.2

Ecart moyen (m)	1.1	1.6	0.7
Ecart-type (m)	± 1.5	± 2.1	± 0.9

sion centimétrique des coordonnées identiques à celles données par le GPS de poche sur le point de départ. Nous obtenons ainsi des écarts utilisables directement pour le calcul de la précision (écart-type). L'écart en altitude aurait du être supérieur aux écarts en x et y. Il est sans doute meilleur ici parce que nous avons travaillé dans une zone restreinte.

Nota : Le 1^{er} décembre 2001, soit plus de six mois après, nous avons repris 5 des points précédents au GPS de poche. L'écart moyen en x était de 2,1m, et en y de 2,0m. L'écart maximum était de 4,4m.

■ Deuxième test

Il était destiné à confirmer les mesures précédentes, mais surtout à contrôler que les calages du GPS de poche sur les référentiels terrestres étaient bons (étalonnage). Nous avons mesuré avec le GPS de poche deux points géodésiques IGN et d'autres points de précision centimétrique précédemment déterminés au GPS LEICA bi-fréquence. Ces points étaient assez éloignés les uns des autres, certaines distances dépassant 10 kilomètres.

De plus, nous avons repris certains points deux heures après pour s'assurer que les coordonnées n'avaient pas varié sensiblement avec le temps.

L'écart en altitude de 17h40 à PTT Lauves est hors tolérance. Nous l'avons supprimé.

Les écarts-types en x et y confirment ceux trouvés précédemment.

Ceux en altitude sont plus conformes à la réalité que précédemment

En altitude, l'écart moyen par rapport à la position vraie, signifie que le GPS utilisé n'est pas réglé pour la zone de travail. Il a été réglé pour une zone où la hauteur de géoïde par rapport à l'ellipsoïde est de 38 mètres, alors que dans notre zone de travail, elle est 49 mètres. Il faudra abaisser les altitudes trouvées de 11 mètres.

Les abscisses x sont bien calées, l'écart moyen de 1.6m étant peu significatif. Les ordonnées y seront à corriger de - 4 mètres.

Quand on regarde les résultats au bas du tableau, la précision en altitude est

Test 2 : Mesures du 9 juin 2001 dans la région du Luc (Var)

Point	Heure	Précision affichée	Dx (m)	Dy (m)	Dalt (m)
RN67 bis	15h30	4 m	+4.6	+5.6	+13.5
			+3.6	+4.6	+11.5
	18h16	5 m	+0.4	+3.6	+9.5
Réservoir Le Cagnet	15h50	5 m	+4.5	+7.0	+14.0
	17h58	5 m	+1.5	+6.0	+10.0
RN/rd17	16h01	5 m	+2.2	+3.9	+8.2
	18h06	4 m	+1.2	+3.9	+15.2
Pont Argens	16h16	4 m	+3.3	+1.2	+7.2
S.14 Péch.	16h27	4 m	+0.6	+3.7	+9.2
Lac Carcés	16h38	4/5 m	-0.6	+4.1	+15.6
Dumez	16h44	4 m	+0.4	+3.9	+8.7
RN citerne	16h58	4 m	+1.9	+5.8	+9.5
Bne Autor.	17h05	4 m	+0.5	+5.1	+9.4
Le Luc VII	17h28	7 m	+0.7	+6.1	+14.5
PTT Lauves	17h40	7 m	-1.3	+3.1	+25.3
	17h44	4 m	+2.7	+4.1	+14.3
RN Lauves	17h48	5 m	+1.3	+0.9	+12.2
Ecart moyen par rapport à la position vraie (m)			+ 1.6	+ 4.3	+ 11.4
Ecart-type par rapport à la moyenne (m)			± 1.4	± 1.7	± 2.4

de l'ordre de 2.4m. L'écart moyen de 11,5 mètres correspond à l'erreur d'étalonnage dont nous avons donné précédemment une image avec la cible

■ Corrections à apporter

Il suffira d'inclure dans une séance de travail un contrôle sur plusieurs points connus, bornes IGN et repères de nivellement, par exemple, que l'on prendra en début et en fin de travail. On pourra ainsi en déduire une correction en x, y et surtout altitude.

■ Analyse des résultats.

Ils sont excellents pour des petits GPS de poche. La précision graphique de report sur les cartes est de l'ordre de 2/10 de mm. Pour une carte IGN 1/25 000, 2/10 mm correspondent à 5 m sur le terrain. Cela veut dire que nous sommes largement dans les tolérances. La précision affichée sur

les GPS, lors des mesures est cohérente avec la réalité. On peut faire du complètement des cartes IGN avec un GPS de poche, moyennant une procédure adéquate d'observations et de calculs. ●

ABSTRACT

Since 2001, suppression of some voluntary degradations from satellites signals greatly improved pocket GPS accuracy. It was interesting to do measurement series on precise known points. Using the correct adjustments, the new accuracy is surprising!

KEY-WORDS : Pocket GPS, degradation, standard-deviation, calibration.

Influence de la déviation de la verticale sur les travaux topographiques réalisés dans le système RGF93

■ Ludovic ANDRES

La mise en œuvre du nouveau système de référence R.G.F 93 implique l'utilisation de l'ellipsoïde GRS80. Les mesures topographiques d'angles et de distances devant être réduites sur cet ellipsoïde subissent donc naturellement les effets de la déviation de la verticale. Une comparaison de ces déviations est réalisée pour l'ancien et le nouveau système de référence. Puis une estimation des corrections qui devraient s'appliquer lors de la réduction des observations sur l'ellipsoïde GRS80 est effectuée. Bien que pour certaines régions de France ces altérations puissent être relativement importantes, on s'aperçoit qu'elles peuvent d'une manière générale être négligées pour des travaux topographiques effectués dans le cadre du R.G.F 93 ne nécessitant pas une trop grande précision. Dans le cas contraire, il devient nécessaire d'en tenir compte surtout dans les régions soumises à de fortes déviations de la verticale.

Introduction

Depuis le 26 Décembre 2000, le décret d'application de l'article 53 de la loi d'Aménagement et de Développement Durable (**Décret n° 2000-127, Loi n°95-115**) a défini le R.G.F. 93 comme le nouveau système de référence en vigueur. Ce nouveau système répondait à des besoins majeurs. Il s'agissait de remplacer la Nouvelle Triangulation de la France – NTF (**Levallois, 1988**) : sa faible précision de l'ordre de 1 cm/km et des problèmes d'échelle locaux la rendaient inadaptée aux exigences et aux performances techniques actuelles en terme de levés topographiques. De plus, il convenait d'adopter un nouvel ellipsoïde permettant une meilleure compatibilité avec le système de positionnement par satellite GPS (**Global Positioning System**).

Au-delà de ces avantages indiscutables, le choix d'un nouvel ellipsoïde, en l'occurrence le GRS80 – Geodetic Reference System 1980 (**Moritz, 1980**), engendre des effets qu'il convient d'estimer, notamment sur les mesures d'angles et de distances effectuées à l'occasion de travaux topographiques. En effet, les théodolites, tachéomètres, et autres appareils de topographie terrestre utilisent le champ de pesanteur pour déterminer la verticale (et donc l'horizontale), nécessaire à leur mise en station. Tous les angles et distances mesurés sont donc déterminés par rapport à cette verticale et non par rapport à la normale à l'ellipsoïde. Or le champ de pesanteur qui varie selon les lieux est principalement le reflet de la structure de la Terre, de son mou-

vement et de l'influence des autres planètes du système solaire. Le géoïde a été défini comme étant la surface équipotentielle du champ de pesanteur terrestre correspondant au mieux avec le niveau moyen des mers prolongé sous les terres. Cette surface, qui ondule, correspond à une grandeur physique, et est donc différente d'un ellipsoïde qui n'est que la définition géométrique d'une surface simple. Bien entendu les ellipsoïdes sont eux mêmes choisis de façon à correspondre au mieux avec le géoïde : au niveau local pour les ellipsoïdes nationaux et au niveau global en ce qui concerne les ellipsoïdes internationaux tel que le GRS80. Ainsi, au niveau local, un ellipsoïde international est de façon générale moins "parallèle" au géoïde qu'un ellipsoïde national. De ce fait, la réduction sur l'ellipsoïde des mesures d'angles et de distances faites sur le terrain doit se faire avec précaution : il peut devenir nécessaire de tenir compte de la non colinéarité de la verticale avec la normale à l'ellipsoïde si l'altération engendrée ne peut être considérée comme négligeable. Comme cela a pu être le cas dans d'autres pays (**Dymock and al, 1999, Featherstone and Rueger, 2000**), cet article tente d'estimer ces effets, pour des travaux effectués dans l'ancien et le nouveau système de référence en vigueur en France.

Rappels sur la déviation de la verticale

On rappelle (**Heiskanen and Moritz, 1967, Bomford, 1980**) que la verticale est définie par rapport au vecteur accélération de

la pesanteur par un vecteur unitaire \vec{v} tel que

$$\vec{v} = \frac{\vec{g}}{\|\vec{g}\|}$$

Ce vecteur est donc dirigé de bas en haut, dans la direction donnée par un fil à plomb. La figure 1 montre que ce vecteur forme un angle θ avec la normale à l'ellipsoïde représentant ce que l'on nomme la déviation de la verticale.

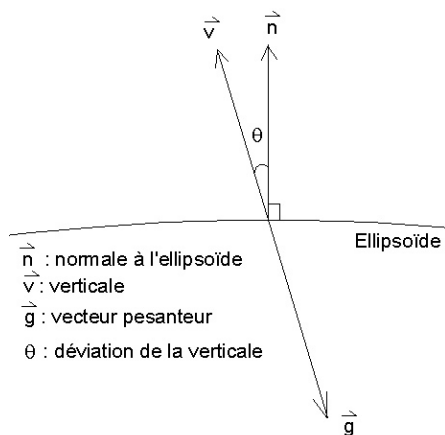


Figure 1 : représentation de la déviation de la verticale.

Comme cela est illustré sur la figure 2 (Dufour, 2001), cet angle peut être décomposé en ses composantes η et ξ respectivement dans les direction Est-Ouest et Nord-Sud

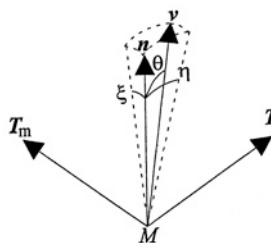


Figure 2 : décomposition de la verticale en ses composantes η et ξ . T_p et T_m sont les vecteurs unitaires dirigés respectivement vers l'Est, le Nord.

On a alors la relation : $\theta = \sqrt{\eta^2 + \xi^2}$

Si l'on effectue sur la surface équipotentielle un déplacement élémentaire ds_m dans la direction Nord-Sud (selon le méridien), on aura une variation élémentaire dN de la hauteur N du géoïde au dessus de l'ellipsoïde telle qu'illustré par la figure 3 (Dufour, 2001) et matérialisant l'angle ξ .

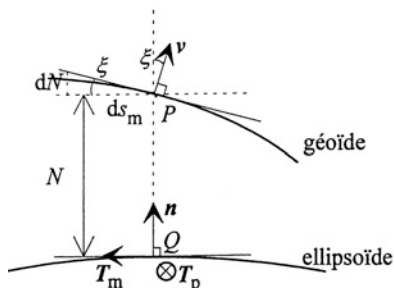


Figure 3 : déviation de la verticale dans le sens nord-sud. T_p , T_m et n sont les vecteurs unitaires dirigés respectivement vers l'Est, le Nord et le haut.

On peut donc écrire : $\tan \xi = -\frac{dN}{ds_m} = -\frac{dN}{\rho d\varphi}$

ρ étant le rayon de courbure principale dans la direction du méridien, donné par :

$$\rho = -\frac{a(1-e^2)}{w^3} \text{ avec } w = \sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}$$

où a représente le demi grand axe de l'ellipsoïde, e l'excentricité et φ la latitude du point considéré.

Comme ξ est petit, on peut faire l'approximation : $\xi = -\frac{dN}{\rho d\varphi}$

De même, on a : $\eta = -\frac{dN}{ds_p} = -\frac{dN}{v \cos \varphi d\lambda}$

λ étant la longitude et v le rayon de courbure principale dans la direction du parallèle, donné par : $v = \frac{a}{w}$

Bien entendu, l'opérateur géomètre réalisant ses mesures d'angles et de distances ne se déplace pas sur une surface équipotentielle mais à la surface de la Terre et à différentes altitudes. Aussi, les variations locales de l'attraction gravitationnelle dues au relief et aux densités variables des couches géologiques vont induire des variations de pente dans les courbes équipotentielles qu'il va croiser aux grès de ses travaux, courbes qui ne seront donc pas forcément parallèles entre elles. On comprendra donc qu'en toute rigueur, la déviation de la verticale à la surface du globe ne peut faire l'objet que d'une mesure sur le terrain si l'on souhaite la déterminer de façon parfaite. Plusieurs techniques existent pour cela, dont celle qui consiste à déterminer et comparer les coordonnées astronomiques et géodésiques d'un point.

Calcul des déviations de la verticale sur le territoire de la France

Dans le cadre de la présente étude, il s'agit d'estimer de façon réaliste les effets de la déviation de la verticale pour la France continentale et non de fournir des valeurs d'angles extrêmement précises et ponctuelles. Aussi on conviendra que tout modèle reconnu de géoïde ou quasi-géoïde suffira pour cela, et ■■■

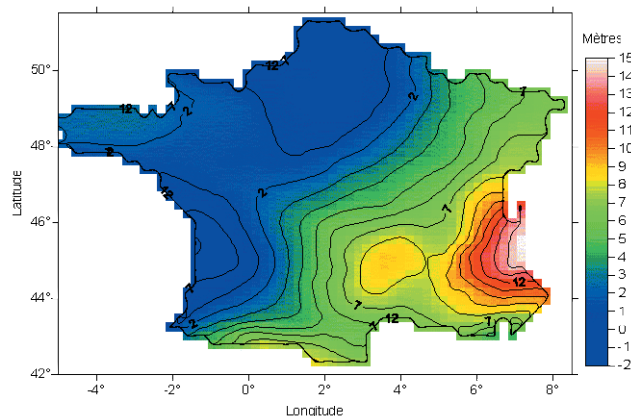


Figure 4 : modèle de géoïde de Levallois au-dessus de l'ellipsoïde de Clarke 1880 IGN.

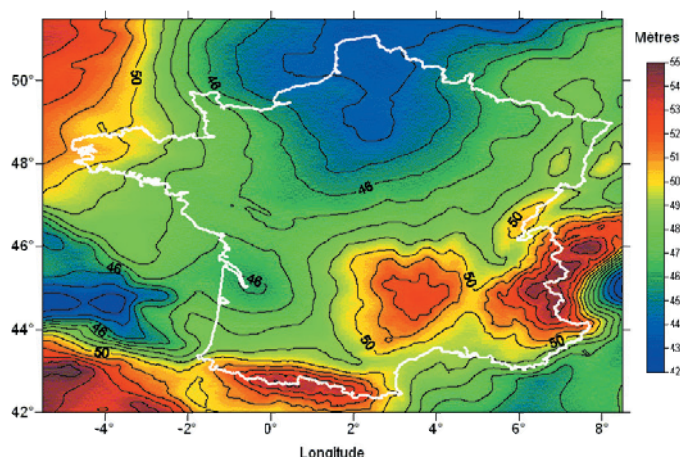


Figure 5 : modèle de quasi-géoïde local RAF98 au dessus de l'ellipsoïde GRS 80.

■ ■ ■ l'on s'attachera donc à en examiner les gradients Nord-Sud et Est-Ouest. En ce qui concerne l'ellipsoïde de Clarke 1880 IGN lié à la N.T.F., on utilisera (Figure 4) le modèle de géoïde astro-géodésique de Levallois (Levallois, 1970). Pour le GRS80 associé au R.G.F.93, le choix s'est porté sur le modèle R.A.F.98 (Duquenne, 1998) présenté en figure 5, puisqu'il s'agit probablement à ce jour (Noquet et al., 2000) d'un des meilleurs modèles de quasi-géoïde correspondant aux altitudes normales IGN69 (Levallois et Maillard, 1970) disponible pour la France.

Un programme réalisé en Visual Basic a permis de générer les déviations totales de la verticale ainsi que ses composantes Nord-Sud et Est-Ouest pour la grille RAF98 (résolution de 0.025° en latitude et 0.033° en longitude) ainsi que pour le modèle de Levallois (résolution de 0.22°x0.22°). On peut s'apercevoir en examinant les statistiques présentées sur la table 1, que le GRS80 semble moins bien adapté au géoïde sur la France que ne l'était le Clarke 1880 IGN. Cependant bien que les valeurs minimales et maximales de la déviation de la verticale et de ses composantes η et ξ soient nettement plus importantes dans le cadre du RGF93, la valeur moyenne ainsi que l'écart type restent relativement comparables avec celles de l'ancien système.

	η_{LEV}	ξ_{LEV}	θ_{LEV}	η_{RAF98}	ξ_{RAF98}	θ_{RAF98}
min	-71,70	-56,09	0,04	-142,92	-111,80	0,04
max	33,21	66,13	76,31	99,44	134,49	164,74
moy	-11,01	4,32	21,38	-3,15	6,16	23,36
Ecart type	14,84	16,63	13,28	19,10	21,09	17,93

Table 1 : principales caractéristiques statistiques de la déviation totale de la verticale (θ) et de ses composantes Est Ouest (η) et Nord Sud (ξ) pour les modèles de Levallois et RAF98 (unité : micro-radian). Calculs effectués pour la France continentale

Le fait que la résolution des deux modèles de géoïde utilisés soit très différentes n'a qu'une incidence réduite sur ces résultats statistiques : en effet le ré-échantillonnage à l'aide d'un filtre passe-bas de la grille RAF98 pour se ramener à un pas de 0,25°x0,25°, a conduit à des résultats statistiques globaux

quasi identiques, mais au détriment de la finesse nécessaire à toute étude locale. Si l'on examine plus en détail la répartition géographique des valeurs de θ , η et ξ déduites du modèle de Levallois (figure 6) au dessus de l'ellipsoïde de Clarke 1880 IGN, on s'apercevra que les régions à caractère montagneux comme les Pyrénées, les Alpes et même la région Provence - Alpes - Côte d'Azur sont logiquement les premières affectées par une importante déviation de la verticale. Pour les autres régions de France les amplitudes de θ , η et ξ restent globalement inférieures à 50 microradians.

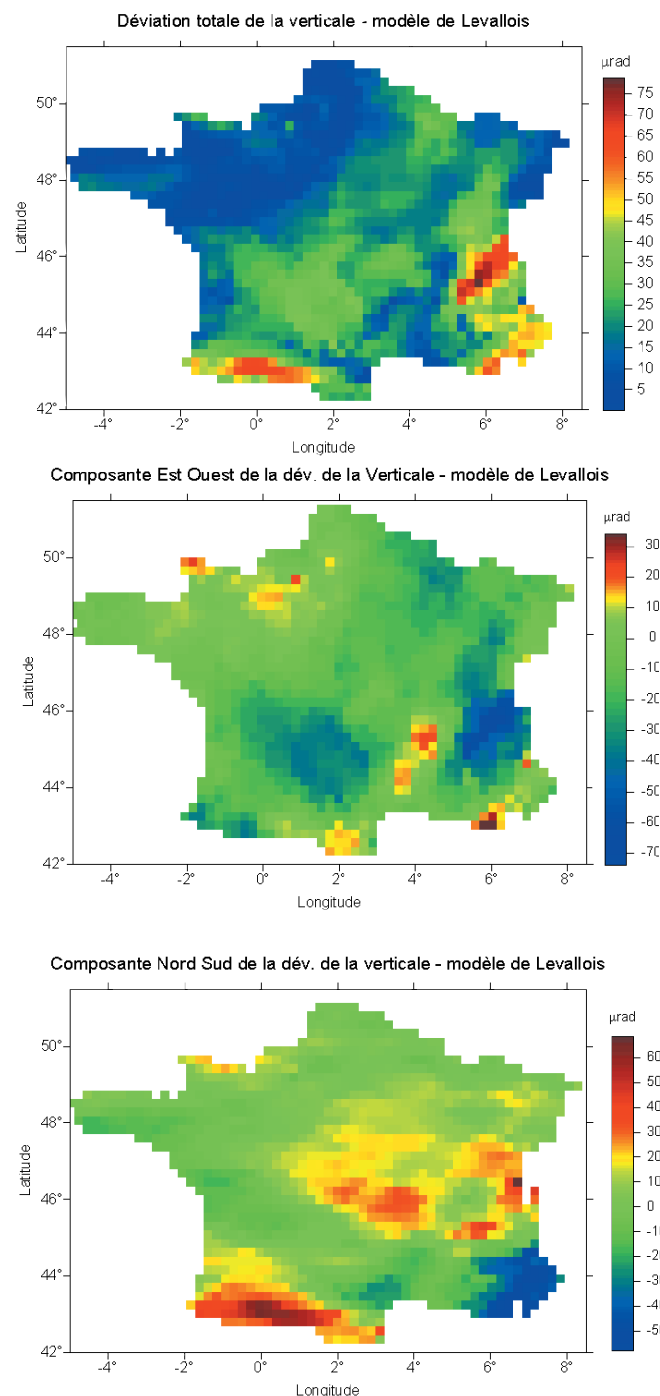


Figure 6 : déviations de la verticale calculées le modèle de Levallois

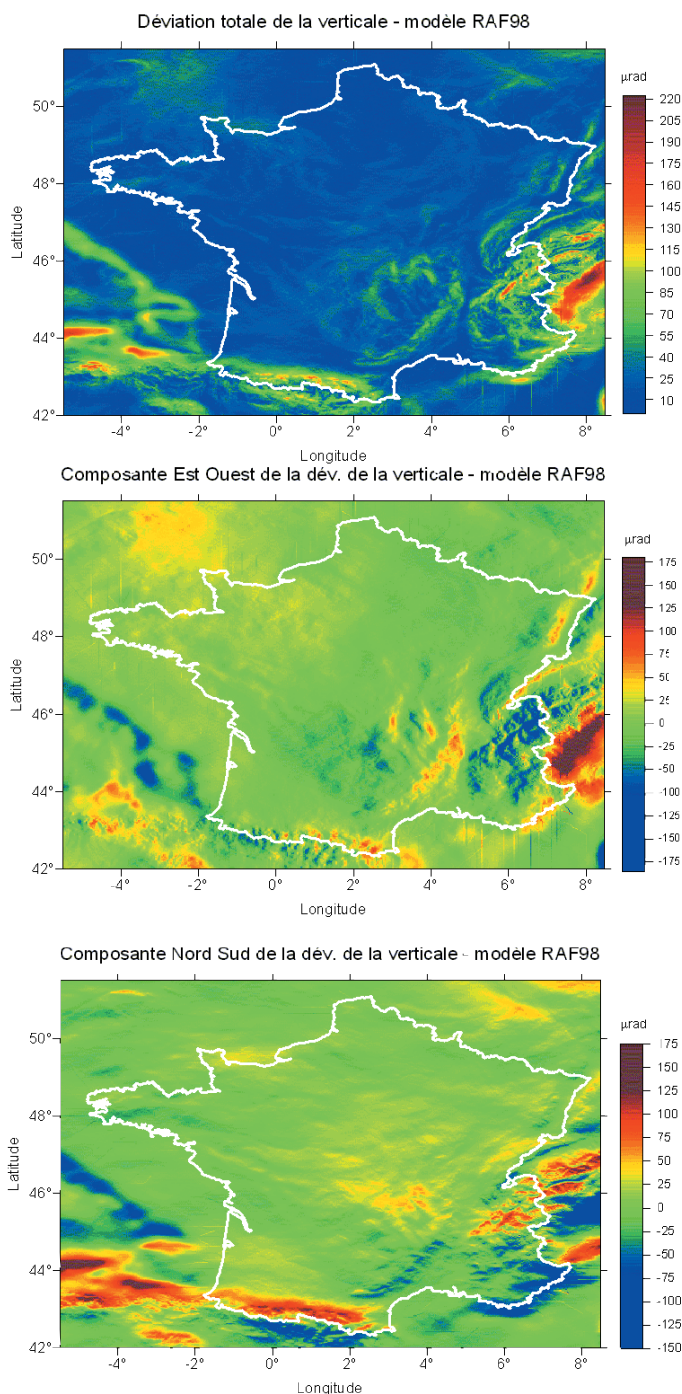


Figure 7 : déviations de la verticale calculées d'après le modèle RAF98

De plus, cette cartographie permet de mettre en évidence quelques effets localisés sur les composantes η et ξ (exemple de la composante η en Basse Normandie) qu'il conviendrait d'étudier de manière plus détaillée avec un modèle de géoïde plus précis que celui de Levallois. En ce qui concerne le modèle RAF98 au dessus de l'ellipsoïde GRS80, l'examen des amplitudes de θ , η et ξ obtenues (figure 7) dénote une certaine analogie avec celui de Levallois en effet les zones mises en évidence sont grossièrement semblables, par contre, localement, des ampli-

tudes sont plus importantes pour le couple GRS80/RAF98. Ces plus fortes amplitudes ne proviennent pas du problème de la pente du nivellement IGN69 sur la France. En effet, on sait d'une part que le réseau IGN69 a contribué par la correction du quasi géoïde QGF98 (Duquenne, 1998) à l'élaboration du modèle RAF98. D'autre part, la fameuse traversée Marseille – Dunkerque (Kasser, 1989) a révélé pour ce réseau de nivellement un systématisme probable lié aux observations de l'ordre de 30 cm pour 1000 km. Mais cela correspond à une déviation de la verticale parasite de 0,3 microradian environ, donc négligeable. De plus il s'agit d'un phénomène global (sur la composante Nord-Sud principalement) à l'échelle de la France alors que les fortes variations de la déviation de la verticale concernent principalement les zones montagneuses. On peut également examiner le problème de la précision en zone montagneuse des hauteurs ellipsoïdales utilisées conjointement aux altitudes IGN69 lors de la confection de la grille RAF98. Des points nivelés du RBF (Réseau de Base Français - RGF93) ont été utilisés : si l'on considère dans un cas extrême, une erreur de 20 cm environ sur la hauteur ellipsoïdale entre deux points géodésiques distants de 50 km, cela pourrait générer jusqu'à 3,9 microradians d'erreur sur la déviation de la verticale : cela reste insuffisant pour expliquer ces plus fortes amplitudes obtenues localement avec le modèle RAF98. C'est plutôt la relative grande résolution spatiale et la meilleure précision offerte par ce modèle, qui doit contribuer à mettre en évidence ce type de phénomène et pourrait permettre des études complémentaires plus détaillées dans ces régions soumises à des variations locales importantes du potentiel gravitationnel.

Application aux mesures d'angles et de distances

Il convient maintenant d'examiner les corrections que l'on devrait apporter à nos mesures terrestres d'angles et de distances si l'on tenait compte de la déviation de la verticale pour ramener ces mesures à des angles relatifs à l'ellipsoïde.

■ Réduction des angles horizontaux

Soient Az_a et Dz_a l'azimut et la distance zénithale mesurés (l'indice "a" signifie "astronomique"). Soient Az_g et Dz_g l'azimut et la distance zénithale corrigés (l'indice "g" signifie "géodésique").

La formule de Laplace nous donne la relation :

$$Az_g - Az_a = \eta \tan \varphi + (\eta \cos Az_a - \xi \sin Az_a) \cot Dz_a$$

Le terme $(Az_g - Az_a)$ représente la correction à apporter aux mesures de Az_a . On s'aperçoit que le terme en cotangente diminue rapidement dès lors que les visées s'éloignent du zénith. La table 2 présentée ci dessous donne des simulations numériques effectuées pour différentes valeurs de φ , Dz_a , η , ξ pour un azimut mesuré de 45° : la correction théorique ainsi que la longueur de l'arc correspondant à une distance de 100 m sont indiqués dans les deux dernières colonnes. ■ ■ ■

Latitude φ	$\eta = \xi$ μrad	D_z	Correction μrad	Longueur (mm) de l'arc à 100 m
42°	50	80°	-46,81	4,67
42°	100	80°	-93,67	9,37
42°	50	60°	-95,87	9,58
42°	100	60°	-191,78	19,17
50°	50	80°	-61,41	6,14
50°	100	80°	-122,82	12,29
50°	50	60°	-110,47	11,04
50°	100	60°	-220,93	22,08

Table 2 : exemples de corrections à apporter à un azimut mesuré de 45° pour diverses valeurs de φ , η , ξ , et D_z

- En pratique l'angle horizontal mesuré entre deux visées est une différence de deux azimuts :

$$\Delta A_{za} = A_{za2} - A_{za1}$$

La valeur de la correction à apporter (Dufour, 2001) est donnée par la formule : $\Delta A_{zg} - \Delta A_{za} = \cot D_{z2}(\eta \cos A_{za2} - \xi \sin A_{za2}) - \cot D_{z1}(\eta \cos A_{za1} - \xi \sin A_{za1})$

Une simulation numérique avec différentes valeurs angulaires est présentée sur la table 3. On notera que pour des différences d'azimuts et de distances zénithales importantes, ainsi que pour de fortes déviations de la verticale, les corrections peuvent devenir considérables.

Il y aurait donc lieu d'en tenir compte selon le type de travaux topographiques à réaliser, ou selon les conditions du chantier (différences de distances zénithales importantes).

A_{za1}	A_{za2}	D_{za1}	D_{za2}	$\eta = \xi$ μrad	Correction μrad	Longueur (mm) de l'arc à 100 m
40°	60°	85°	75°	50	-5,28	0,54
40°	60°	85°	75°	100	-10,52	1,08
20°	80	85°	65°	50	-20,90	2,16
20°	80	85°	65°	100	-41,74	4,30

Table 3 : exemples de corrections à apporter à des différences d'azimuts pour diverses valeurs de η , ξ et D_z .

A titre indicatif, la figure 8 présente pour des paramètres fixes, une simulation réalisée à partir des composantes Est-Ouest et Nord-Sud de la déviation de la verticale calculées précédemment d'après le modèle RAF98.

On voit que pour l'ensemble de la France, les altérations générées restent globalement limitées à 2 millimètres à une distance de 100 mètres pour le jeu paramètres choisis.

■ Réduction des angles verticaux

La déviation de la verticale ξ dans l'azimut A_{za} est égale à :

$$\xi = \cos A_{za} + \eta \sin A_{za}$$

C'est la correction à appliquer à la distance zénithale D_{za} pour

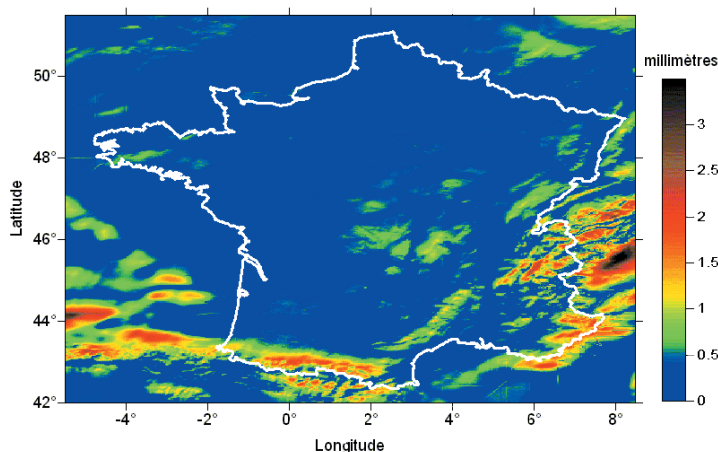


Figure 8 : simulation de la longueur de l'arc généré à 100 m, en azimut, par la déviation de la verticale pour : $D_{z1}=85^\circ$, $D_{z2}=75^\circ$, $A_{z1}=40^\circ$, $A_{z2}=60^\circ$

obtenir D_{zg} (Vanicek et Wells, 1974, Torge, 1985) si l'on considère l'effet de la déviation de la verticale uniquement. Les valeurs des composantes η et ξ illustrées plus haut par la Figure 7 permettront à chacun d'apprécier les amplitudes des corrections en jeu : il ne faut cependant pas perdre de vue que le déplacement correspondant généré sur le plan horizontal est minime. La véritable influence se fera sur la composante altimétrique dans le cas d'un nivellement trigonométrique par exemple.

Il est cependant intéressant de remarquer que la correction de la distance zénithale entre deux visées sera d'autant plus faible que les angles azimutaux des deux visées seront proches (jusqu'à devenir nulle pour $A_{za1}=A_{za2}$). La table 4 donne quelques exemples de corrections pour des différences de distances zénithales, ainsi que les longueurs des arcs (verticaux) générés à une distance de 100 mètres.

A_{za1}	A_{za2}	$\eta = \xi$ μrad	Correction μrad	Longueur (mm) de l'arc à 100 m
40	40°	50	0,00	0,00
40°	60°	50	-23,71	2,44
40°	60°	100	-47,41	4,89
20°	80°	50	-68,31	7,03
0°	90°	50	-96,96	9,99

Table 4 : exemples de corrections à apporter à des différences de distances zénithales pour diverses valeurs d'azimuts, de η , ξ .

Les figures 9 et 10 illustrent quant à elles, deux simulations réalisées sur la France à partir des composantes Est-Ouest et Nord-Sud calculées précédemment d'après le modèle RAF98. On s'aperçoit avec les paramètres présentés que même dans la simulation la plus défavorable (figure 10) la longueur de l'arc généré à 100 mètres reste globalement inférieure à 5 millimètres et ne dépasse qu'exceptionnellement le centimètre.

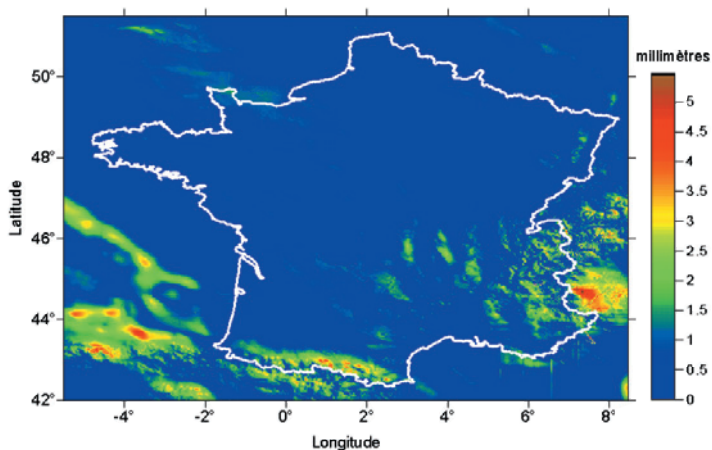


Figure 9 : simulation de la longueur de l'arc généré à 100m par la déviation de la verticale, sur la différence de distances zénithales, pour les azimuts: $Az_1=40^\circ$, $Az_2=60^\circ$

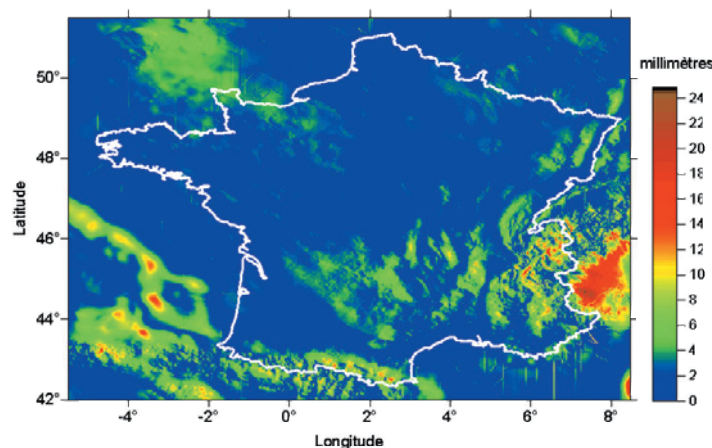


Figure 10 : simulation de la longueur de l'arc généré à 100m par la déviation de la verticale, sur la différence de distances zénithales, pour les azimuts: $Az_1=30^\circ$, $Az_2=120^\circ$

Il est nécessaire de préciser que la mesure des angles verticaux (tout comme les distances, et dans un degré moindre les angles horizontaux) subit les lois de la réfraction (principe de Fermat). Or la correction due à la réfraction atmosphérique est plutôt mal connue. Elle est d'autant plus importante que la distance zénithale est faible et les points observés éloignés. Elle peut être très supérieure à la correction de la déviation de la verticale selon les conditions d'observations.

■ Réduction des distances

Afin d'utiliser notre ellipsoïde GRS80, il convient de transformer les distances mesurées sur le terrain (aujourd'hui à l'aide d'un distance-mètre électronique utilisant les ondes électromagnétiques), en longueurs ramenées sur l'ellipsoïde. La figure 11 (Torge 1991) illustre la géométrie de cette transformation dans le cas où l'on utilise les hauteurs ellipsoïdales h_1 et h_2 des points P_1 et P_2 pour la réaliser. Dans ce cas, la déviation de la verticale n'intervient pas.

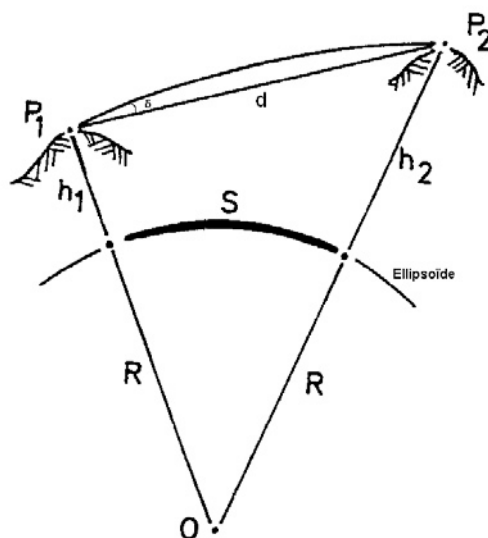


Figure 11 : réduction de la distance d mesurée en une distance S sur l'ellipsoïde

On a alors dans les conditions d'un levé topographique de quelques kilomètres (<50 km), la formule de réduction des distances suivante (Dufour, 2000) :

$$S = 2R_\alpha \arcsin \left[\frac{d \sqrt{1 - \left(\frac{h_1 - h_2}{d} \right)^2}}{2R_\alpha \sqrt{\left(1 + \frac{h_1}{R_\alpha} \right) \left(1 + \frac{h_2}{R_\alpha} \right)}} \right]$$

d étant la distance mesurée entre les points P_1 et P_2 , S la distance réduite et R_α le rayon de courbure entre les points P_1 et P_2 (azimut Az) donné par (Cooper, 1987)

$$R_\alpha = \frac{vp}{v \cos^2 Az + \rho \sin^2 Az}$$

Il est nécessaire de préciser que la mesure des angles verticaux (tout comme les distances, et dans un degré moindre les angles horizontaux) subit les lois de la réfraction (principe de Fermat). Or la correction due à la réfraction atmosphérique est plutôt mal connue.

■ ■ ■ Néanmoins, les mesures réalisées sur le terrain par un tachéomètre peuvent être directement réduites en utilisant la distance zénithale observée simultanément. Comme nous l'avons vu précédemment, cette distance zénithale subit l'effet de la déviation de la verticale. Et on doit alors appliquer la formule de réduction suivante (**Rüeger, 1996**) :

$$S = R\alpha \arctan \left(\frac{d \sin (Dz_1 + \varepsilon_1 + \delta)}{R\alpha + h_1 + d \cos (Dz_1 + \varepsilon_1 + \delta)} \right)$$

avec δ angle de réfraction entre P_1 et P_2 et ε_1 déviation de la verticale en P_1 dans l'azimut de P_2 .

La table 5 présentée ci dessous donne différents exemples d'écarts entre des réductions S tenant compte de l'effet de la déviation de la verticale et des réductions S' qui n'en tiennent pas compte. Dans les deux cas on a ignoré l'effet de la réfraction.

Dz	ε (μ rad)	S (m)	S' (m)	S-S' (mm)
80°	50	101,5803	101,5794	0,87
60°	50	89,3294	89,3269	2,50
80°	100	101,5812	101,5794	1,76
60°	100	89,3319	89,3269	4,99

Table 5 : exemples de réductions de distances avec (S) ou sans (S') prise en compte de la déviation de la verticale. Paramètres utilisés : $h_1=200$ m, $d=100$ m, latitude= 45° N, Az= 45° , $\delta=0$, $R\alpha=6378092$ m.

Ces résultats montrent que l'effet de la déviation de la verticale est loin d'être négligeable dès lors que l'on se trouve dans des zones soumises fortement à son influence et que les distances zénithales deviennent faibles.

Conclusion

On sait qu'il faut prendre en compte les effets liés à la déviation de la verticale dès lors que l'on cherche à établir d'importants réseaux de triangulation ou bien que l'on effectue des travaux topographiques de précision. Par contre, dans l'usage courant ces effets sont généralement ignorés puisque l'on considère que les altérations engendrées peuvent être négligées compte tenu de faibles déviations de la verticale, de

la taille limitée du chantier topographique traité et de la précision requise pour le levé.

Toutefois, dans le cadre de travaux topographiques réalisés dans le système R.G.F.93 et au vu des résultats de la présente étude, deux cas de figures semblent se dégager :

- pour des travaux topographiques ne requérant pas de grandes précisions, tels des levés cadastraux ou des géopositionnements décimétriques dans des Systèmes d'Informations Géographiques, l'influence de la déviation de la verticale peut être simplement ignorée.

- Pour des levés topographiques de précision, et dans les zones soumises à de fortes influences de la déviation de la verticale il semble nécessaire d'en corriger les effets. Plusieurs solutions semblent réalisables à ce jour pour remédier à ce problème :

La première consisterait à établir pour la France, ou uniquement pour les régions concernées, une grille de déviations de la verticale. Cette grille pourrait être exploitée par des logiciels de calculs topographiques pour appliquer des corrections, qui bien qu'imparfaites, minimiseraient ces altérations.

La seconde consisterait en la mesure *in situ* de la déviation de la verticale, mais cette solution est lourde à mettre en œuvre et n'est utilisée que dans les instituts de recherche ou les grands organismes tel que l'Institut Géographique National.

La troisième implique l'utilisation du système GPS : en effet, celui-ci étant totalement indépendant des effets liés à la déviation de la verticale, sa mise en œuvre conjointe avec les méthodes de levé traditionnelles permet donc d'en minimiser grandement les altérations. Les méthodes de travail évoluant, le géomètre a recours de plus en plus souvent à ce système G.P.S dont l'utilisation est aujourd'hui simplifiée par l'adoption du RGF93 et le développement par l'IGN et ses partenaires (Collectivités Territoriales, Universités, CNRS, etc...), du Réseau de GPS Permanents (RGP). De plus, la baisse des coûts de ces matériels facilite leur acquisition par les cabinets de Géomètres. Cette dernière solution est donc facile à mettre en œuvre et devrait retenir l'attention des géomètres. ●

Remerciements

Je remercie tout particulièrement M. Henri Duquenne (ESGT) pour ses remarques et pour la grille R.A.F 98 qu'il m'a fournie.

On sait qu'il faut prendre en compte les effets liés à la déviation de la verticale dès lors que l'on cherche à établir d'importants réseaux de triangulation ou bien que l'on effectue des travaux topographiques de précision. Par contre, dans l'usage courant ces effets sont généralement ignorés puisque l'on considère que les

Je remercie également l'Institut Géographique National pour le modèle de géoïde numérique de Levallois et Messieurs Michel Kasser (IGN), Alain Harmel (IGN), et Denis Delerba (Ville de Nice) pour leurs commentaires.

Contacts

Ludovic ANDRES, Ingénieur en Chef,
Service Information Géographique - Mairie de Nice,
3 rue de la Terrasse, 06364 NICE CEDEX 4
ludovic.andres@ville-nice.fr

Références

BOMFORD G., 1980, *Geodesy*, Clarendon, Oxford.

COOPER, M. A. R., 1987, *Control surveys in civil engineering*, Blackwell, Oxford.

DECRET N° 2000-1276, 26 Décembre 2000, *Décret portant application de l'article 89 de la loi n° 95-115 du 4 février 1995 modifiée d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire relatif aux conditions d'exécution et de publication des levés de plans entrepris par les services publics*

DUFOUR, J-P., 2001, *Introduction à la Géodésie*, Collection ENSG - IGN, Editions Hermes

DUQUENNE, H., 1998, *QGF98 - a new solution for the quasigeoid in France*, *Proceedings of the Second Continental Workshop on the Geoid in Europe*. - Reports of the Finnish Geodetic Institute, M. Vermeer and J. Adam, editors, Masala, Finland.

FEATHERSTONE W. E., RÜEGER, J., 2000, *The importance of using deviations of the vertical for the reduction of survey data to a geocentric datum*, *The Australian Surveyor*, vol 45, n° 2

HEISKANEN, W. H. and MORITZ, H., 1967, *Physical Geodesy*, Freeman, San Francisco, USA.

LOI N° 95-115, 4 Février 1995, *Loi d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire*, article 89

KASSER, M, 1989, *Un nivellement de très haute précision : la traversée Marseille - Dunkerque 1983*, CR Académie des Sciences t. 309, Série II, p695-700, 1989.

LEVALLOIS, J.J., 1970, *Géodésie Générale*, Editions Eyrolles, tome 3.

LEVALLOIS, J.J., 1970, *Modèle de géoïde de Levallois au dessus de l'ellipsoïde Clarke 1880 IGN*, Service de Géodésie et de Nivellement, Institut Géographique National.

LEVALLOIS, J.J., 1988, *Mesurer la Terre - 300 ans de géodésie française*, Association Française de Topographie, Paris, 1988.

LEVALLOIS J.J. AND MAILLARD J., 1970, *Le nouveau réseau de nivellement de 1^{er} ordre du territoire français, conséquences pratiques et scientifiques.*, IGN

MORITZ, H., 1980, *Geodetic Reference System 1980*, Bulletin Géodésique, n°54, p395-405.

NOCQUET, J.-M., DUQUENNE, H. , BOUCHER, C., HARMEL, A. , WILLIS, P., 2000, *Conversion altimétrique RGF93-IGN69*, CNIG- Groupe de Travail Permanent "Positionnement Statique et Dynamique "

RÜEGER, J. M., 1996, *Electronic distance measurement - An introduction*, Springer, Berlin - New York.

TORGE, W, 1985, *Dreidimensionale Netze*. In : H. Pelzer (ed), *Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II*, 313-333, K. Witter, Stuttgart.

TORGE, W, 1991, *Geodesy*, Editions Walter de Gruyter, Second Edition, Berlin, New York.

VANICEK, P., WELLS, D. E., 1974, *Positioning of horizontal geodetic datums*, *Canadian. Surveyor*, 28, 531-538.

ABSTRACT

The new geodetic reference system R.G.F.93 which takes place in France, uses the GRS80 ellipsoid. All distances and angular terrestrial measurements made during survey operations are under the influence of the Earth gravity field and therefore undergo the effect of the deviation of the vertical. A comparison of these deviations is made for the new and the former french reference system. Then, an attempt is made to estimate the corrections that should be applied to reduce the observations to the GRS80 ellipsoid. Finally it appears that these alterations cannot be neglected for high precision topographic surveying executed in the R.G.F.93 reference system, particularly in the regions of important deviations of the vertical.

Passage d'un système géodésique à un autre

Réponse à Claude Million

■ André FONTAINE

Par son article "l'application d'un système de coordonnées dans un autre référentiel", présenté dans le numéro 90 de "xyz", Claude MILLION m'a ramené au début de ma carrière en géodésie (c'est loin!) où le principal problème était de calculer pour les militaires tous les points de la Nouvelle Triangulation Française dans le système géodésique Europe 50 en coordonnées U.T.M. Je profite donc de cet article pour faire un retour en arrière et évoquer les deux principales méthodes utilisées à l'IGN pour le passage d'un système géodésique à un autre ; j'en ajouterai une troisième imaginée par H.M. DUFOUR qui ne semble pas avoir eu le succès que sa simplicité aurait dû lui valoir.

Les polynômes complexes

Comme le rappelle Claude MILLION, ce fut la méthode la plus courante pendant des décennies. Par exemple, pour le passage du Lambert à l'U.T.M., comme on dit improprement, il fallut calculer au moins 9 polynômes complexes, puisque les intersections des trois fuseaux U.T.M. et des trois zones Lambert découpaient la France en 9 régions. Michel DUPUY fut l'ingénieur géographe qui étudia le problème théorique ; il présenta une thèse en janvier 1955, intitulée : "l'interpolation complexe et ses applications en géodésie et cartographie".

H.M. DUFOUR fut chargé de la mise au point des calculs sur le premier calculateur électronique acheté par l'I.G.N. en 1954, le Gamma 3 Bull. Essayons de nous remettre dans les conditions de l'époque.

Le Gamma 3 fonctionnait bien, mais il n'avait que 5 mémoires et ne pouvait recevoir que 48 ordres élémentaires ; il était relié à des machines à cartes perforées (perforatrice et tabulatrice). Les pro-

blèmes devaient être très simples ou saucissonnés en tranches avec tous les aléas de perforation et de lecture de résultats partiels. Le tableau des ordres était confectionné manuellement à l'aide de fiches colorées pour éviter les fautes grossières, la mise au point s'effectuait en visualisant sur un oscilloscope cathodique les trains d'impulsions électriques qui circulaient dans les mémoires et représentaient les nombres.

Pour un polynôme complexe, le programme se bornait à l'algorithme $z(A+B)$ dans lequel les trois variables sont des nombres complexes ; ces nombres étaient introduit par des cartes et, pour un polynôme du troisième degré, il fallait 5 cartes la première portant z et les quatre autres, chacun des quatre coefficients du polynôme. Les cartes ayant été au préalable interclassées, le calcul lui-même s'effectuait au rythme de 24 points à la minute. Lorsque on disposa de moyens informatiques supplémentaires, par nécessité de continuité, on en resta à cette méthode et en huit ans plus de 300 000 transformations furent traitées.

La méthode tridimensionnelle

Avec l'engouement pour la géodésie tridimensionnelle, on abandonna les projections pour se situer dans un espace cartésien. Le raisonnement est simple : on connaît la position planimétrique du point sur l'ellipsoïde de référence, le long de la verticale on se déplace d'une longueur égale à la hauteur au dessus de l'ellipsoïde et on arrive ainsi à sa position sur la surface topographique. Comme cette surface est unique, quel que soit le système géodésique, on arrive au même point qui, dans un même trièdre de référence, devrait avoir les mêmes coordonnées cartésiennes. Il faut donc tenir compte de la position des ellipsoïdes de référence les uns par rapport aux autres, mais on sait que théoriquement leurs axes principaux sont parallèles et donc une simple translation suffit. En raison des processus de calcul et surtout des observations différentes, par prudence, on ajoute le plus souvent une rotation et une homothétie pour aboutir à ce qu'on appelle un peu pompeusement la transformation de Helmert.

Si je reviens sur cette méthode, c'est pour montrer qu'elle est fautive. Le raisonnement sur un point paraît sans faille, mais supposons qu'on fasse de même pour un point voisin qui a été calculé à partir du premier. On part de l'ellipsoïde, on remonte au géoïde en se déplaçant sur la verticale d'une longueur égale à la hauteur du géoïde au dessus de l'ellipsoïde et on poursuit son ascension d'une longueur égale à l'altitude.

Avec l'engouement pour la géodésie tridimensionnelle, on abandonna les projections pour se situer dans un espace cartésien. Le raisonnement est simple : on connaît la position planimétrique du point sur l'ellipsoïde de référence, le long de la verticale on se déplace d'une longueur égale à la hauteur au dessus de l'ellipsoïde et on arrive ainsi à sa position sur la surface topographique. Comme cette surface est unique, quel que soit le système géodésique, on arrive au même point qui, dans un même trièdre de référence, devrait avoir les mêmes coordonnées carté-

Lorsqu'on a fait le calcul géodésique du deuxième point, on a pris les deux points de la surface topographique et on a calculé grâce aux altitudes la distance sur le géoïde qu'on a reportée sur l'ellipsoïde. Quand on calcule les coordonnées tridimensionnelles des deux points, avant de continuer jusqu'à la surface topographique grâce à l'altitude, on est remonté de l'ellipsoïde sur le géoïde. On a apporté alors à la distance sur l'ellipsoïde une petite homothétie due à la hauteur du géoïde au dessus de l'ellipsoïde et on ne retrouve pas sur le géoïde la distance des deux points de la surface topographique ramenée au géoïde.

Il n'y a pas réciprocity entre le calcul des coordonnées géodésiques des points de la surface topographique et le calcul tridimensionnel de la surface topographique à partir des coordonnées géodésiques. Dans le deuxième processus, on ne construit pas la surface topographique elle-même, mais son image légèrement déformée par des homothéties variables en chaque point. Elles sont petites mais pas totalement négligeables.

Il faut bien le comprendre les coordonnées géodésiques ne sont pas géométriques ; même si elles sont proches, il n'y a pas de méthode rigoureuse pour passer des unes aux autres et réciproquement. Pour l'exploitation pétrolière, Bruno Ravanais nous apprend dans "xyz" n°91 qu'une base à la disposition

des usagers comprend 303 référentiels géodésiques et 785 jeux de paramètres de transformation. Cette base, sans doute d'une précision suffisante pour les recherches sur le terrain, n'est pas exacte, car pour la constitution des données de départ, les coordonnées tridimensionnelles des points des systèmes géodésiques, on introduit des distorsions parfois non négligeables qu'on ne peut estimer.

La méthode Dufour

Elle s'applique à deux systèmes de coordonnées géodésiques sans passer par des coordonnées géométriques, ce qui évite les petits défauts signalés ci-dessus.

Soient deux points P et Q dont on connaît les coordonnées géodésiques dans deux systèmes différents : M_1, L_1 et M_2, L_2 dans le premier, M'_1, L'_1 , M'_2, L'_2 dans le deuxième. On définit sur chacun des deux ellipsoïdes de référence une même projection Lambert dont le centre est le point de coordonnées M_1, L_1 et on projette chacun des deux systèmes dans la projection correspondant à son ellipsoïde de référence. Que devient le coté PQ?

Soient

pq le coté en projection 1, G son gisement, d sa longueur

p'q' le coté en projection 2, G' son gisement, d' sa longueur.

En projection 1, le gisement G est égal à l'azimut géodésique A, puisqu'on est au point central de la projection. En projection 2, le gisement G' est égal à l'azimut géodésique A' diminué de la convergence des méridiens

$$G' = A' - (M'_1 - M_1) \sin L_1$$

suivant la formule bien connue de la convergence des méridiens dans une projection Lambert dont le point central a pour coordonnées M_1, L_1 .

Sur le terrain au point P, les deux azimuts géodésiques sont relatifs à un même azimut astronomique calculé suivant deux verticales différentes M_1, L_1 et M'_1, L'_1 , on a donc

$$A' = A + (M'_1 - M_1) \sin L_1$$

(formule de Laplace)

et on voit immédiatement que $G' = G$

Si on examine les distances, on sait que $d = m D$ et $d' = m' D'$

m et m' module de réduction des distances dans chacune des projections et D et D' distances sur les deux ellipsoïdes.

Par définition de la géodésie, les deux distances D et D' sont égales, puisque égales à la distance sur le géoïde. Le module m est égal à 1 (on est au point central de la projection), le module m' est donné par la formule

$$m' = 1 + 2 \operatorname{tg}^2((L'_1 - L_1)/2) + \dots$$

Pour deux systèmes géodésiques relatifs à un même réseau de points de ■■■

■ ■ ■ référence, les coordonnées dans chacun des deux systèmes sont relativement proches et ne dépassent pas quelques centaines de mètres. On voit que, par exemple, si $(L'_1 - L_1)/2 < 1/100\ 000$ (différence de latitude de 200m) on a $m' \# 1 + 2/10\ 000\ 000\ 000$ (différence négligeable par rapport à m).

En conséquence, le passage dans une même projection Lambert de leurs ellipsoïdes respectifs donne pour les deux systèmes géodésiques deux cotés pq et $p'q'$ équipollents. Ils se déduisent l'un de l'autre par une simple translation.

On généralise et on prend maintenant une projection Lambert de point central M, L . Les formules ci-dessus deviennent

$$m = 1 + 2 \operatorname{tg}^2((L_1 - L)/2) + \dots$$

$$m' = 1 + 2 \operatorname{tg}^2((L'_1 - L)/2) + \dots$$

Soit

$$m' - m \# 4 \operatorname{tg}((L_1 - L)/2) \operatorname{tg}((L'_1 - L_1)/2) (1 + \operatorname{tg}^2((L_1 - L)/2))$$

en confondant dans leur somme ou leur produit $\operatorname{tg}((L_1 - L)/2)$ et $\operatorname{tg}((L'_1 - L)/2)$;

soit encore

$$m' - m \# k (L'_1 - L_1) \operatorname{tg} (L_1 - L)$$

avec $k = 1 - \operatorname{tg}^4((L_1 - L)/2)$

k restant toujours très près et inférieur à 1

$$m' - m \# (L'_1 - L_1) \operatorname{tg} (L_1 - L)$$

Cette formule permet d'apprécier les limites de validité de l'hypothèse.

$$\text{Si } (L'_1 - L_1)/2 < 1/100\ 000$$

et $(L_1 - L) < 2/100$ (c'est à dire pour une zone de 400 km) l'écart entre les deux modules de réduction des distances restent négligeables.

Pour le gisement, la différence des deux convergences des méridiens est tou-

jours égale à $(M'_1 - M_1) \sin L_1$, tandis que la différence des corrections de Laplace devient $(M'_1 - M_1) \sin L$. On peut écrire $\sin L \# (L_1 - L) \cos L_1$ et $G' - G \# (M'_1 - M_1) (L_1 - L) \cos L_1$

Cette formule donne les limites de validité de l'hypothèse, suivant les coordonnées du point P dans les deux systèmes.

Il me semble me souvenir que H.M. DUFOUR a fait l'expérience sur le passage du Lambert à l'U.T.M. sur toute la France pour trouver que la translation sur une aussi grande surface varie d'un peu plus de 1 m, ce qui est remarquable étant donné les différences dans le calcul de la N.T.F et du réseau Europe 50. Il m'avait dit alors *"rends-toi compte, si on avait pensé à cette méthode en 1950, toutes les difficultés qu'on aurait évitées"*. Effectivement. Il a dit "on" par modestie, il aurait pu dire "je".

Cette méthode est particulièrement intéressante car il suffit de connaître les coordonnées d'un seul point commun dans les deux systèmes géodésiques à comparer, pour en déduire immédiatement l'extension de la zone de validité que couvrira la projection Lambert définie au centre de cette zone et la valeur de la translation recherchée. Elle présente aussi un autre avantage par rapport au passage par les coordonnées tridimensionnelles : la connaissance des hauteurs du géoïde par rapport à l'ellipsoïde de référence est inutile, or ce n'est pas toujours une sinécure de les déterminer pour des réseaux locaux.

Il ne faut pas oublier que la méthode suppose que les distances sur les ellipsoïdes géodésiques soient égales aux distances sur le géoïde. elle ne s'applique donc pas aux systèmes géomé-

triques, ni au passage d'un système géodésique à un système géométrique. En revanche pour le passage d'un système géodésique à un autre système géodésique, cette méthode est la plus simple et, qui plus est, de précision calculable.

Pour la petite histoire, je dois dire que c'est le jour où H.M. DUFOUR m'a expliqué sa méthode que j'ai alors compris le véritable fondement de la géodésie et sa différence avec la projection de la surface topographique sur un ellipsoïde. Auparavant, comme un imbécile, j'ai utilisé les coordonnées géodésiques tridimensionnelles pour le passage d'un système géodésique à un autre, sans m'apercevoir des fautes de cette méthode.

Dois-je me réjouir de ce jour où mes yeux se sont ouverts ? Sans doute, suis-je content d'avoir amélioré ma compréhension des choses, mais cela m'a valu une telle somme d'efforts pour essayer de convaincre de nombreux responsables des vertus de la géodésie par rapport à la simple géométrie, que peut-être eût-il mieux valu que je reste dans l'ignorance. J'écris convaincre, car, après tant d'années, j'ai l'impression qu'il s'agit d'une question de foi et non pas d'un simple problème scientifique facile à appréhender. Espérons que le temps finira par avoir raison des incroyants ; la prédication se poursuit. ●

Dois-je me réjouir de ce jour où mes yeux se sont ouverts ? Sans doute, suis-je content d'avoir amélioré ma compréhension des choses, mais cela m'a valu une telle somme d'efforts pour essayer de convaincre de nombreux responsables des vertus de la géodésie par rapport à la simple géométrie, que peut-être eût-il mieux valu que je reste dans l'ignorance. J'écris convaincre, car,

L'Afrique est bonne hôte

■ PAUL COURBON Ingénieur IGN, Géomètre-expert en RETRAITE

Par le biais de "Géomètres sans frontières", qui a déjà fait plusieurs articles dans la revue, j'ai encadré un stage de trois semaines à l'Ecole Supérieures des Ingénieurs Géomètres et Topographes (ESIGT) de Cotonou. Je résume, ci-après, cette intervention.

Après avoir passé deux mois dans la jungle des Philippines, puis trois semaines dans le sud de la France, avec une canicule inhabituelle pour l'époque. Je n'ai pas eu le temps de récupérer et la chaleur moite de Cotonou ne m'est pas agréable. Heureusement, un orage violent s'abat. Les trombes d'eau rafraîchissent l'atmosphère. Mes bagages ne sont pas arrivés, ils ont raté la correspondance de Roissy. Nous sommes une douzaine dans ce cas. Interminables palabres pour régulariser la situation. Dehors, MM. Razak et Achadé qui sont venus me chercher, se demandent si je suis arrivé. Je sors en vitesse pour les rassurer.

A dix heures du soir, la traversée de Cotonou est rapide. Mais j'ai le temps d'apprécier la multitude de zemidjans, vélomoteurs qui servent de taxis. Ce sont des deux temps et le mélange de carburant-huile dégage une fumée particulièrement polluante. Pas de grands immeubles, des constructions basses et aérées. Cotonou s'étend sur une superficie énorme.

Nous quittons les larges avenues pavées pour prendre une rue latérale où le pavage a laissé place à un revêtement de terre et de sable, agrémenté de large flaques d'eau, de cailloux, de débris, de zones défoncées. Je débarque de plein pied dans l'Afrique.

Nous nous arrêtons devant l'Ecole, petite bâtisse à deux niveaux où je vais



Scène de rue à Cotonou, à droite un zemidjans, un cyclo moteur qui est le principal mode de transport.

enseigner et être logé durant trois semaines. Deux jeunes géomètres français, David et Thomas, sont là depuis quatre mois, qui font leur stage de troisième année. L'accueil est sympathique. Outre les deux jeunes français, il y a le Directeur des Etudes, M. Achadé, le comptable-chauffeur de l'Ecole, M. Razak, ainsi que Madame BAH, épouse du directeur, actuellement en France. On m'amène à ma chambre, puis à la salle de séjour où je vais partager mes repas avec David et Thomas. Le cuisinier a déjà apporté la nourriture. La table est de premier ordre. Quand nous nous commençons notre repas, les deux chaînes de télévision locales nous régaleront pendant une demi-heure de la rubrique nécrologique du Bénin. Ce n'est pas plus rasoir que les publicités de Vania pour la protection de l'intimité féminine ou de Bifidus pour le transit intestinal, mais c'est plus long! Demain, on se rattrapera sur la coupe du monde, avec le match France-Uruguay...

L'école

Le lendemain matin, coup de cœur! Je retrouve dans ces locaux l'ambiance et

l'intimité des écoles primaires de mon enfance. Des vieilles tables et chaises en bois, quelques illustrations d'appareils topographiques sur les murs peints à la chaux. Il n'y a ni superflu, ni clinquant. Cette simplicité me va droit au cœur. Il n'y a pas là le monumental ou le luxe inutiles de l'ENSG à Champs-sur-Marne ou de l'ESGT au Mans. On peut voir grand avec l'argent du contribuable et cela n'ajoute rien à la qualité de l'enseignement!

J'ai toujours été allergique au "paraître" et à l'esbrouffe que j'apparente à un jeu trompeur. Seule la simplicité est vraie. Comme l'aurait dit Pagnol, elle est "authentique".

J'ai huit élèves, fort sympathiques et simples. On sent chez eux, le respect que témoigne l'africain à celui qui leur apporte le savoir. Après les présentations, je les teste en leur posant de nombreuses questions sur ce qu'ils ont appris. Au bout d'une heure, je me suis fait une bonne idée de ce que doit être mon intervention : ils ont de bonnes connaissances de base, mais très peu de pratique et des liens quasi inexistant entre la théorie et cette pratique. Il me faut aussi des informations sur le matériel

■ ■ ■ dont ils disposent, sur l'infrastructure et la documentation locale concernant les points de repère. Là encore, l'indigence des repères existant et de la documentation disponible me montre la voie à suivre dans mon enseignement.

Regarder le tiers-monde avec réalisme et pragmatisme

J'ai parfois l'impression que notre instruction poussée nous a coupés de la réalité. Nous n'appelons plus chat un chat. Il n'y a plus d'aveugles, mais des "non-voyants"! Des mots simples et pédagogiques ont souvent été remplacés par des mots abstraits non assimilés. De même, nous avons formé des élites africaines avec des normes européennes, dans un contexte européen.

■ adaptation de l'enseignement

Dans l'Afrique francophone, on n'apprend plus aux écoliers "nos ancêtres les gaulois". Mais, l'enseignement est-il adapté aux réalités locales ? Les étudiants avec lesquels j'ai passé trois semaines avaient reçu de bons cours, mais venant d'enseignants qui possédaient la théorie, et non la pratique. Aucun de mes élèves ne savait qu'un angle d'un grade est l'angle sous lequel on voit un objet d'un mètre à une distance de 64 mètres, notion indispensable dès que l'on aborde les précisions angulaires et leur influence sur la pré-

sion planimétrique. Aucun ne savait étalonner un appareil : contrôle du centrage optique, contrôle de la constante d'un distancemètre électronique, contrôle et correction de la collimation d'un niveau. Ils savaient comment on détermine une collimation verticale, mais ne l'avaient pas fait en pratique et ne se doutaient pas qu'elle pouvait être importante et à quel point elle pouvait fausser une mesure. Aucun n'avait fait de tout d'horizon avec cercle à droite et cercle à gauche, réduction du tour à zéro, réitération des mesures avec changement d'origine alors que le T2 Wild est encore très employé au Bénin.

■ adaptation des techniques

Sur le plan technique, le fossé se creuse entre le monde occidental et le tiers-monde. Un exemple simple : 95% du parc automobile de l'Afrique noire est composé de vieilles Peugeot, Renault ou de Toyota de conception ancienne. Les africains excellent à les maintenir en état de marche. Ils ont un sens du bricolage et de la débrouillardise que nous n'avons plus. Un ministre béninois vient de remettre au goût du jour le contrôle technique automobile! Dans un pays où les véhicules ont 20 ans d'âge moyen, que restera-t-il du parc si on applique réellement ces contrôles? Sans commentaire. Avec l'arrivée du tout électronique dans les véhicules, qu'arrivera-t-il dans dix ans, quand ces

véhicules, devenus d'occasion, seront exportés en Afrique.

La même question doit se poser en topographie. Dans un pays où le niveau de vie et les possibilités de financement sont bien inférieurs aux nôtres, il faut trouver un compromis entre les techniques traditionnelles et les techniques nouvelles.

L'acquisition, la maintenance et l'entretien du matériel électronique en Afrique est problématique. Dans un pays où le réseau géodésique est très pauvre, une seule idée : "le GPS"! Mais, combien coûte une paire d'un bon bi-fréquence ? Combien de géomètres en ont-ils acquis en région PACA, en France ? Quand nous avons un problème, un coup de fil est vite donné au service après-vente du constructeur. En cas de panne, une expédition (sans passage de douane) est vite faite et l'immobilisation courte. Qu'en est-il en Afrique ? Le leasing et le prix d'une intervention de dépannage sont-ils accessibles aux géomètres africains?

Je dois ajouter que grâce au bureau de M. BAH, nos étudiants avaient pu se servir d'une station totale, traiter leur lever par ordinateur et sortir un plan sur la table traçante.

■ travail dans une géodésie locale

Aucun cours de topographie ou de topométrie ne saurait être envisagé sans un chapitre sur les représentations ; la représentation UTM fuseau 30 en ce qui concerne le Bénin. Les élèves connaissaient le "module linéaire", terme purement mathématique et abstrait. Par contre, aucun ne put me donner d'explication sur "l'altération linéaire", terme physique et qui devrait se suffire à lui-même. Aucune liaison logique n'avait été faite entre altération linéaire et module linéaire. Je me permets ici une critique à l'encontre des enseignants de la nouvelle génération. La topographie se sert des mathématiques, mais c'est avant tout une science physique, avec des définitions qui doivent être clairement énoncées. "Ce qui se conçoit bien s'exprime clairement et les mots pour le dire vous viennent aisément". J'ai souvent pesté



Polygonale de précision autour de l'école, exécuté avec la méthode des trois trépieds



contre des enseignants qui remplaçaient une définition, pourtant facile à énoncer, par une formule mathématique, avec tout ce que cela comporte d'abstrait. En fin de compte, cette formule est moins bien assimilée car elle n'est pas associée au concret physique, à un langage simple et choisi. C'est une solution de facilité.

Les lacunes en ce qui concerne la représentation UTM étaient énormes. Mais, dans la réalité, sans GPS, peut-on se rattacher aisément au réseau géodésique UTM du Bénin.

Premier problème : retrouver des bornes. Dans une région avec une urbanisation explosive comme Cotonou, combien en reste-t-il, l'IGN Bénin donne-t-il les informations à tout utilisateur qui les demande?

Deuxième problème, en supposant que nous retrouvions deux bornes distantes de six kilomètres l'une de l'autre, comment s'orienter de l'une sur l'autre en région hyperplate et urbanisée ou arborée? Le beau schéma théorique de la polygonale, avec orientation de départ et d'arrivée tombe alors à l'eau!

Seule solution : joindre les deux bornes par une polygonale de précision calculée dans un système indépendant. Après vérification que la distance entre les deux bornes donnée par les coordonnées UTM et corrigée de l'altération linéaire et la distance donnée par les coordonnées indépendantes sont cohérentes, on peut faire un changement de base. Une autre polygonale, ajoutera évidemment plus de fiabilité aux points ainsi créés. Les puristes vont lever les bras au ciel. Qu'ils aillent réaliser un chantier sur place!

Un projet de VRD

La deuxième partie de mon programme comportait un projet de VRD. Ce projet fut précédé de deux opérations :

- Un lever de 1,5 ha devant servir d'assiette au projet. Il fut réalisé en une journée par les élèves.
- Trois visites : une sur un gros chantier de réfection de voirie en cours, une

autre à la Direction des Routes et Ouvrages d'Art (DRAO) et au service chargé des marchés, une troisième, enfin au Centre National d'Essais des Travaux Publics du Bénin.

Ces trois visites, fort enrichissantes me permirent d'élaborer un projet correspondant aux normes locales, en essayant d'apporter quelques améliorations.

Ces trois visites furent pour moi une bouffée d'oxygène. Huit ans plus tôt, j'étais revenu du Tchad fort pessimiste. J'ai retrouvé ici des fonctionnaires compétents ayant une réelle volonté de faire progresser le système. Malheureusement, le manque de cadres moyens, de contremaîtres et l'inefficacité d'un nombre encore trop grand de fonctionnaires freine cette volonté. Mais, en elle-même, cette volonté constitue un grand espoir.

Sur le plan des eaux pluviales, deux problèmes se posent à Cotonou :

- Le terrain est désespérément plat. Coincée entre la lagune et l'océan, sur un sol de terre et de sable, la ville n'offre que de faibles dénivellations. Chaque pluie voit apparaître le problème des zones inondée. Comme de plus, de nombreux fossés ne sont pas curés, le problème est amplifié. Pourtant, de nombreux conduits d'écoulement des eaux pluviales ne sont pas constitués de buses, mais de canaux de section rectangulaire, recouverts de dalles aérées et mobiles pour permettre le curage.

- Deuxième problème, le manque de repères de nivellement si nécessaire dans ce cas.

Pour les eaux usées, c'est encore pire. Quelqu'un a-t-il idée du prix de la station d'épuration envisagée pour la ville de Marseille ? Plusieurs milliards de francs, presque un milliard d'euros!

Plus que le budget total du Bénin... Cotonou est plus grand que Marseille et le coût serait augmenté par de plus nombreuses stations de relevage à entretenir. Sans commentaire. Tout le problème des eaux usées est réglé par fosses septiques, puits perdus (alors

que la nappe phréatique évolue entre 0,5 et 2 mètres de profondeur), ou rejet dans le pluvial qui va à la mer... Pauvre commandant Cousteau!

Les rues principales créées à Cotonou sont bien faites. Pour limiter l'entretien qui est le point faible des pays africains, il a été décidé de faire du solide. Sur une solide couche de silteux, sable avec une granulométrie adaptée, un pose des pavés ciments, d'une épaisseur de 11 cm, fabriqués sur place. Cela nous donne de belles rues qui résistent mieux que l'asphalte aux pluies violentes.

Dernier problème restant, celui des réseaux d'eau potable, de téléphone, d'électricité. Impossibilité ici d'obtenir une coordination entre les différents services. Il faut dire qu'en France, il y a vingt ou trente ans encore c'était le cas. A Toulon, dans les années 60, Combien de fois n'ai-je vu des routes récemment refaites, défoncées pour l'installation d'un nouveau réseau d'eau. L'Afrique nous suit avec quarante ans de retard. Dans notre projet de VRD, j'ai dû insister auprès des élèves, pour que soient laissés, signalés d'une manière visible, des fourreaux sous le réseau routier.

Conclusion

J'ai entrevu au cours de ce séjour des signes encourageants, des bonnes volontés qui réchauffent le cœur. L'accession à la démocratie permet maintenant des critiques ouvertes dans les journaux et la télévision, c'est un facteur de progrès. La sagesse nous ferait dire : il faut laisser le temps au temps. On ne peut tout changer du jour au lendemain et dans deux générations l'Afrique se sera bien prise en charge. Et pourtant, je suis nuancé. L'explosion démographique sera la grande catastrophe écologique de demain, si les pays du tiers monde n'en prennent pas conscience et ne font pas un effort drastique, comme la Chine, pour la juguler. Tous les signes encourageants de progrès que nous constatons risquent d'être réduits à zéro par une vague de naissances plus forte que les progrès de la scolarisation et de l'économie. C'est pour moi le plus grand défi à relever. ●

centre Pompidou :

■ JEAN-PIERRE MAILLARD

Depuis Montmartre, Paris s'offre au regard, montre la rectitude de ses artères principales et l'ordonnement de son bâti couvert de toits gris. On perçoit avec netteté le vert du bois de Vincennes, le blanc de Notre-Dame et, au sud, le développement des gratte-ciel de la place d'Italie.

Au beau milieu de cette harmonie on remarque un échafaudage à caractère permanent qui entoure un édifice démesuré à l'échelle de son quartier, le centre Pompidou. Cette image laisse à penser que ledit édifice a été voulu en perpétuelle construction à l'instar de sa vocation, faire vivre au jour le jour la culture contemporaine.

Il s'agit d'un des grands travaux du président Georges Pompidou. Il est l'œuvre des architectes Renzo Piano, Richard Rogers et Gianfranco Franchini choisis en 1971 par un jury à la suite d'un concours international. Le centre Pompidou a été inauguré le 31 janvier 1977. Depuis cette date, c'est environ 23 000 personnes par jour qui fréquentent le musée national d'art moderne/centre de création industrielle (Mnam/CCI), les galeries contemporaines, la bibliothèque publique d'information (Bpi) et l'Institut de recherche et de coordination acoustique/musique (Ircam).

C'est un lieu dont la collection permanente du musée est particulièrement riche d'œuvres géométriques. Les amateurs d'Agam, d'Albers, des Delaunay, de Dewasne, de Malévitch, de Morellet, de Sol LeWitt, de Vasarely, et de bien d'autres y trouveront bien des satisfactions.

Le "musée qui n'existait pas"

Cependant, c'est un "musée qui n'existait pas" qui retient actuellement l'attention. En étant, pour la première fois, accueilli par le centre Pompidou pour une exposition personnelle, Daniel Buren veut contribuer par son travail et sa présentation à la transformation de l'équipement culturel considérant qu' "exposer dans un musée c'est aussi exposer le musée". Son intervention, pense-t-il, le fait devenir ce qu'il n'était pas avant. Il est vrai qu'en investissant tout ou partie du bâtiment depuis le

Photos : Le Musée qui n'existait pas, Centre Pompidou © Daniel Buren, Photos Philippe Migeat

les cases de Buren

sous-sol jusqu'au dernier étage il y parvient quelque peu.

Ce faisant il montre combien il est affranchi du cadre imposé de celui du tableau, voire même de celui des murs. C'est "l'in situ" qui le motive, sa création procédant toujours d'une analyse des lieux, eux aussi à englober dans le projet.

Un vaste "dispositif"

Au sixième étage, l'artiste a découpé l'espace en une soixantaine de cellules cubiques posées sur un damier. Les cases de couleur gris, non utilisées, servent de transition entre les autres cases qui reçoivent chacune une installation, l'ensemble constituant un vaste "dispositif" selon le mot de l'auteur.

Bien sûr, les rayures verticales alternées, blanches puis colorées, d'une égale largeur de 8,7 cm qui font sa renommée sont présentes et bien utilisées, mais pas seulement. Au delà des parallèles, les volumes et leurs cloisons sont l'objet de lignes et de diagonales soit autant de coupures sachant que pour Daniel Buren, quand on dit "couper", "c'est tout de suite dessiner". Le visiteur se promène dans un univers à la rigueur géométrique où se succèdent carrés, losanges, rectangles, triangles sans oublier les inévitables rayures. Le tri dimensionnel

s'impose partout et donne l'impression d'avancer dans une épure de géométrie descriptive. Chaque unité est une véritable composition qui porte un nom tels la "cabane implorée", "les murs obliques", "le plancher à l'infini", "le plafond" etc... Les couleurs peintes ou artificielles comme provenant de projecteurs ou d'éclairage, n'arrivent pas à atténuer la froideur de l'art conceptuel. Pourtant plus on avance dans le dédale, plus on participe malgré soi à l'exposition en rencontrant son image ou celle des autres réfléchies par les miroirs, et en embrasant les perspectives des diagonales du damier animées par les mêmes autres. L'œuvre qui échappe à toute classification, devient ainsi figurative et vivante du fait de la présence des visiteurs et par là même presque chaleureuse.

En marge de l'exposition, le journal Libération a donné carte blanche à l'artiste pour intervenir sur son numéro du 5 juillet 2002. On s'en doute, Daniel Buren a souligné les colonnes du quotidien par des rayures, toujours de 8,7 cm de large. La trame ne sera cependant jamais vue dans son ensemble car les bandes sont tronquées de manière biaisée. Elle découpent ainsi des formes géométriques, d'un vert lumineux, limitées aux parallélogrammes, trapèzes, et triangles qui, au fil des pages, changent, se répètent ou disparaissent.

Daniel Buren

Daniel Buren est né en 1938 à Boulogne-Billancourt. Après une formation aux métiers d'art et un bref passage à l'Ecole nationale supérieure des beaux-Arts de Paris, il touche à la peinture, à la sculpture et au cinéma. Dans les années 1960 il rejette rapidement les sujets narratifs et l'abstraction telle qu'elle était alors pratiquée à l'Ecole de Paris. Il veut tendre vers le degré zéro de la peinture.

La découverte d'une toile de store rayée au marché Saint-Pierre à Paris en 1965 sert sa conception d'un travail résolument impersonnel. Il en fait un outil qu'il utilise pour servir sa démarche minimaliste et éphémère. Il déplace ensuite ses célèbres bandes de part le monde provoquant chaque fois l'événement avec son cortège d'enthousiasmes et de controverses.

La commande publique fera écho à son succès international en lui confiant l'aménagement de la cour du Palais-Royal à Paris. Le caractère pérenne de l'œuvre et les critiques qu'elle a suscitées et qu'elle suscite encore assurent désormais la notoriété des "Colonnes de Buren" et de son créateur. ●

Exposition ouverte jusqu'au 23 septembre 2002.

Au delà des parallèles,
les volumes et leurs
cloisons sont
l'objet
de lignes et de
diagonales soit
autant de cou-

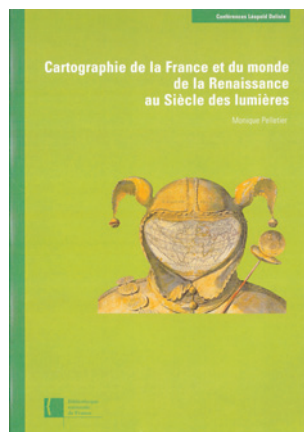


Lucien Logé est né le 12 septembre 1922. Il commence des études de droit pendant la Seconde Guerre mondiale, et s'engage volontairement à la deuxième DB où il sera blessé. Il se dirige vers le dessin après la guerre. Il illustrera de nombreuses publications

► **Editions Publi-Topex**
40, avenue Hoche
75008 Paris

■ Cartographie de la France et du monde de la Renaissance au Siècle des lumières

Par **Monique Pelletier**



Les quatre textes publiés dans ce volume concernent deux périodes importantes pour la cartographie française, la Renaissance et le Siècle des lumières, qui ont posé des règles pour la mesure et la description du territoire. Ces deux activités ont été pratiquées par des hommes de formations diverses - mathématiciens, ingénieurs, peintres, géographes - dont les talents étaient parfois concurrents et souvent complémentaires. Les uns ont proposé des méthodes dans le cadre

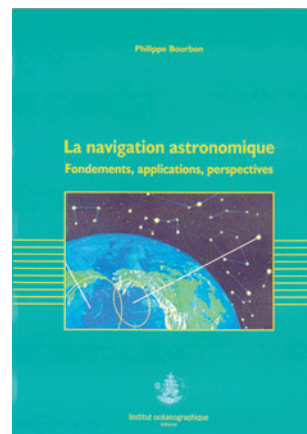
de prestigieuses institutions comme le Collège royal (actuel Collège de France), l'académie des sciences ou l'Académie de marine. D'autres étaient plus directement confrontés au terrain qu'ils devaient décrire pour différentes catégories d'usagers : juges, administrateurs, militaires, navigateurs, historiens, etc. Toutefois les uns et les autres ont œuvré, directement ou indirectement, pour le pouvoir royal, maître non seulement de la cartographie de la France, mais encore de la description du monde. Certes, le contrôle exercé par ce pouvoir et l'intérêt manifesté par les rois et leurs ministres ont pu favoriser les progrès de la cartographie et encourager la publication de documents illustrant les actions glorieuses du monarque et la grandeur de la France, mais ils ont aussi restreint la diffusion de certaines cartes dont l'importance stratégique était évidente. Même s'ils ne sont pas toujours apparents, les objectifs poursuivis par les cartographes et le mode d'utilisation de leurs productions sont toujours pris en considération dans ces quatre études, et ce indépendamment de la date de production des documents.

► **Edition : bibliothèque nationale de France**

■ La navigation astronomique, fondements, application, perspectives

Par **Philippe Bourbon**

Pendant très longtemps, la navigation astronomique a exigé des calculs fastidieux à base de tables de logarithmes et de volumineuses tables de calcul, qui nuisaient au plaisir des mesures à la mer pour déterminer sa position.



L'auteur de cet ouvrage, Philippe Bourbon, officier de marine et plaisancier, mais aussi diplômé de l'ENSTA, est à la fois un expert de haut niveau en astronomie de position, un praticien très entraîné, un historien maritime d'une immense culture, un pédagogue passionnant. En balayant les usages et méthodes qui n'ont plus leur place à l'ère de l'informatique, il approfondit les fondements théoriques de la navigation astronomique et avance des propositions originales. Son exposé de la droite de hauteur traité par la méthode des moindres carrés est exemplaire de son savoir faire.

Son ouvrage est abordable par tous les élèves de terminale science, mais des compléments originaux séduiront une clientèle scientifique de niveau "Bac +4" et au-delà, pratiquant le calcul des probabilités et l'analyse numérique. "La navigation astronomique, fondements, application, perspectives." De Philippe Bourbon est à coup sûr, le meilleur traité actuel, couvrant dans une pédagogie très élaborée, aussi bien les problèmes pratiques que les aspects théoriques de l'astronomie de position.

Jean Bourgoïn

► **Editeur : Institut océanographique**

Les colonnes de cette revue sont à la disposition de tous, adhérent ou non, pour toutes publications d'articles, de communications, d'annonces, d'informations en rapport avec la profession et après accord du comité de rédaction. N'hésitez pas, ces pages sont à la topographie.

REPERTOIRE DES ANNONCEURS - N° 92

AERIAL	4	GÉO MEDIA	3° couv.	REIS STOLZEL	70
AERIAL	72	LEICA	2	TOPO CENTER	4° de couv.
AEROSCAN	8	MICROPLAN	10	TRIMBLE/SPECTRA	1
ENSG	70	NAVSAT	13		
ECOLE CHEZ SOI	72	PENTAX	2° de couv.		