

xyz

éditée par l'AFT
Association Française
de Topographie

n°96

**GNSS
SWISSAT**



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

Euro Disney : le bilan à mi-convention

Directeur de la publication

André Bailly
Ingénieur Géomètre ETP

Directeur adjoint de la publication

Emmanuel Natchitz
Enseignant Chercheur ESTP

Rédaction et administration XYZ

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

Rédacteur en chef

Emmanuel Natchitz

Comité de Rédaction

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

Responsable du site internet

Tania Neusch

Conseil d'orientation scientifique

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

Publicité

Robert Chevalier

Conception et maquette

Dorothée Picard

Abonnements

Evelyne Mesnès

Autre publication

L'annuaire de l'AFT

IMPRIMERIE MODERNE USHA

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

Dépôt légal

1^{er} trimestre 2003 ISSN 0290-9057
N° CPPAP : 0903 G 80866

Tirage de ce numéro : 2 500 ex

Abonnement annuel

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

Le bulletin d'adhésion est en p. 68

Membre du SPCS Syndicat de la Presse
Culturelle et Scientifique

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

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



Membre de la FIG (Fédération Internationale des Géomètres)

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

E-mail : info@aftopo.org • Site internet : <http://www.aftopo.org>

■ Editorial 5

■ Info-Topo

> Les informations de la profession 7

> 14^e Festival International
de Géographie de Saint Dié
Jack BIQUAND 20

> C.U. futé
Jean-Pierre MAILLARD 21

> Surveillance des feux de forêts
Jacques RIFFAULT 23



■ Urbanisme

> Euro Disney : le bilan à mi-convention
Jean-Pierre MAILLARD 25

■ Réglementation

> Les nouveaux textes réglementaires français
en matière de précision des levés
Michel KASSER 31

■ SIG

> La gestion du réseau de télécommunications
de Fibres Optiques Défense
Richard LEROY 43



> Délimitations maritimes et extension
du plateau continental
Frédéric BIZET et Jean-Sylvain PONROY 45

> Conception orientée objet : un modèle
conceptuel de données pour le
remembrement rural au Maroc suivant
le formalisme CONGOO
El Hassane SEMLALI 53

■ GPS



> Un réseau de type VRS
(stations virtuelles
de référence)
GPS + GLONASS
révolutionne la prise
de mesures par
satellites sur le terrain
Le réseau de stations
permanentes
GNSS1 SWISSAT

..... 61

■ Histoire

> La méridienne de France
Suzanne DÉBARBAT 65



> Un sentier pour la Méridienne de France
Daniel SCHELSTRAETE 69

■ GSF

> Quatre exigences fondamentales
François BODIN 73

■ Art et Géométrie



> La fontaine d'Agam :
l'harmonie chromatique
Jean-Pierre MAILLARD 74

■ Livres 76

Pour la recherche de nos annonceurs
consulter la page 77.

Tous peuvent le constater, depuis quelques années l'information géographique française est entrée dans une phase de grandes manœuvres. Le gouvernement de la France, qui comparativement est assez directif et gère une administration forte, est familier de ce type de comportement : il se hâte avec une "sage" lenteur alors que tous lui demandent d'aller vite, mais en contrepartie il garde la possibilité de décider de grandes opérations (même si ce n'est pas forcément avec beaucoup de réelle concertation). C'est ce qui lui a permis de remonter l'équipement de télécoms dans les années 70, en peu de temps, d'un niveau de pays presque sous-développé à un niveau de premier plan. La même analyse prévaut à mon avis pour un autre exemple qu'est le TGV, un superbe équipement national qui a pu se réaliser, entre autres, parce que l'Etat est encore suffisamment fort pour se passer (peut-être pas pour longtemps d'ailleurs) assez largement de l'avis des populations riveraines. En France, l'Etat pense pour nous, et quand les citoyens en sont mécontents, eh bien on attend qu'ils pensent à autre chose sans trop s'en formaliser : les enfants sont turbulents, mais ça leur passera, et les parents savent bien l'art de ne pas trop les écouter tout en en donnant l'apparence.

Pour l'information géographique, à un niveau plus modeste certes, c'est assez similaire : pendant des décennies les deux grosses administrations du domaine sont restées dans une logique fixée par l'Etat depuis très longtemps, ignorant largement les nouvelles attentes des citoyens et des entreprises. Comme résultats de cette époque dont j'espère qu'elle se termine enfin, un secteur professionnel évoluant peu et ceci malgré les efforts mal récompensés de techniciens opérant trop souvent dans un cadre mal adapté. Depuis peu l'Etat a heureusement remis ce sujet en discussion, avec un premier niveau de concertation (sans doute déjà jugé très poussé au regard des habitudes nationales). Et 160 ans après la fin des travaux inutiles de la commission Laplace, la cartographie nationale et le cadastre commencent enfin à travailler ensemble, l'IGN reçoit une série de nouvelles orientations validées par un contrat quadriennal qui vient d'être signé avec ses tutelles, bref ça avance.

Dans ce contexte particulièrement intéressant et inhabituel, l'AFT essaye de rapporter votre voix lorsque cela peut s'avérer utile. Elu ce printemps au titre de l'AFT au Conseil d'Administration d'AFIGEO, je me suis rapidement rendu compte que l'AFT avait un rôle particulier à y jouer. Mais ceci ne peut se faire qu'avec des moyens de vous consulter facilement. Autrefois l'AFT faisait pour cela fonctionner des groupes de travail, mais je vois qu'ils ont disparu, et que ce ne serait certainement pas facile de les refaire fonctionner compte tenu de nos modes de vie actuels.

Je vous propose donc un autre mode de consultation et de concertation, mieux adapté aux moyens actuels : l'emploi systématique du courrier électronique. Je vous invite tous à nous envoyer votre adresse courriel au secrétariat de notre association (info@aftopo.org). Nous aurons ainsi un outil simple, rapide et efficace pour dialoguer rapidement dans les mois qui viennent, car votre avis est nécessaire si nous voulons que les choses puissent évoluer dans le sens optimal, dans cette période où (enfin !) nous avons l'impression de pouvoir les faire changer.

A vos ordinateurs donc, et continuons ensemble...

Votre Président, Michel Kasser



© photothèque EPAMarne / Eric Morency

Euro Disney : le bilan à mi-convention

■ Jean-Pierre MAILLARD

L'article présente le secteur IV de la ville nouvelle de Marne-la-Vallée et la particularité d'une urbanisation intégrant un centre touristique d'envergure européenne. Il détaille l'exécution du contrat : Parties publiques françaises / Société Euro Disneyland à mi-convention et fait connaître les projets en cours.

■ mots clés

Euro Disneyland, Marne-la-Vallée, programme, maîtrise foncière.

Le 12 avril 1992 le premier parc à thèmes de Disneyland Paris, d'une surface de soixante hectares, a été ouvert au public dans la clameur médiatique. Clone de ceux de Los Angeles et d'Orlando, il est destiné au public européen, la société Walt Disney ayant préféré la localisation de l'Est parisien plutôt que celle de Barcelone.

La veille de l'ouverture du parc avaient également été inaugurés six hôtels flambant neuf avec leurs 5 200 chambres, le tout constituant la partie touristique de la première phase du complexe de loisirs marnovalois. Outre cet ensemble, les six cents hectares concernés ont reçu également un programme de 20 000 m² de com-

merces, principalement Disney Village, lieu festif comprenant des restaurants et des attractions, 30 000 m² de bureaux, en premier ceux de la société Euro Disney, 500 logements, 500 places de camping haut de gamme, une amorce de parc d'activités et l'inévitable golf à caractère résidentiel qui souligne la dominante ludique de la phase I. De même le terminus briard de la ligne A du RER, Marne-la-Vallée/Chessy a accueilli sa première rame pleine d'officiels satisfaits du planning respecté et de l'exécution réussie d'un chantier unique en son genre.

En chiffres, la phase I initiale représente plus de dix mille emplois directs, trois

■■■

■ ■ ■ milliards d'euros d'investissements privés et quatre cents millions d'euros d'investissements publics (RER, voirie, eau et assainissement).

Par voie d'avenants, la phase I a également permis d'autres développements notamment la construction d'un multiplexe de cinémas pour compléter l'offre de Disney Village et surtout l'édification de la Gare TGV Marne-la-Vallée/Chessy sur l'interconnexion entre les TGV du Nord et du Sud de la France, en correspondance avec la gare RER.

Depuis l'ouverture, le parc, désormais appelé Disneyland Paris, a accueilli régulièrement ses douze millions de visiteurs annuels. Ces derniers apprécient la magie du Royaume enchanté et le dépaysement des hôtels à thèmes (la vie de château au Disneyland Hôtel, la cité des gratte-ciel à l'Hôtel New-York, les forêts du grand Ouest au Séquoia Lodge, l'ambiance des villes de la côte Est à l'Hôtel Newport, celle du désert mexicain à l'Hôtel Santa Fe et enfin l'Amérique des indiens à l'Hôtel Cheyenne).

Il est bien connu que la réalisation initiale constitue la mise en œuvre d'une première partie de la convention liant les parties publiques françaises (l'Etat, la RATP, la région Ile-de-France, le département de Seine-et-Marne et l'EPAMarne-l'Etablissement public d'aménagement-) à la société Walt Disney. Le programme complet s'affirme comme une véritable opération d'urbanisme d'ensemble. L'agglomération projetée qui englobe les 5 000 habitants du site en 1982, en accueille 20 000 en 2003 et doit en recevoir 40 000 en 2017. Ainsi c'est une véritable cité qui s'inscrira dans le boulevard circulaire de 3, 180 km de diamètre soit une circonférence de 10 km. Le dessin de cette voirie périphérique constitue un geste original dû à la société Disney à l'issue des études préalables. Sur un plan, le tracé de cette infrastructure identifie Val d'Europe au premier coup d'œil tout comme la Diagonale caractérise le plan de Barcelone.

Cette convention définit notamment les conditions et les modalités de la cession des terrains par l'aménageur à la

société Euro Disney SCA créée pour la circonstance. On sait que le programme prévisionnel s'inscrit dans l'application d'un projet d'intérêt général (PIG) pris en charge par l'EPAFrance, le double de l'EPAMarne sur le secteur IV, et par le Syndicat d'agglomération nouvelle (SAN), ce dernier depuis peu dénommé du "Val d'Europe", les deux organismes ayant été créés le 24 mars 1987, le jour de l'approbation, également par décret, du PIG et de la convention ci dessus établie pour durer trente ans.

Il est proposé de faire le bilan de l'application de cette convention à mi-chemin de sa validité.

Au préalable, notons que le syndicat intercommunal, alors baptisé des "Portes de la Brie", regroupe les communes Bailly-Romainvilliers, de Chessy, Coupvray, Magny-le-Hongre et Serris dont les territoires constituent le secteur IV de Marne-la-Vallée aménagé par l'EPAFrance. Au-delà de la majeure partie du périmètre syndical, le périmètre Euro Disneyland concerne également une partie des communes de Coutevroult, Montry et Villeneuve-le-Comte. En complément, et de façon indépendante à la convention, la partie du secteur IV de Marne-la-Vallée hors périmètre Euro Disneyland supporte également un développement. En périphérie des bourgs existants elle reçoit des logements et des zones d'activité artisanales.

Sur le plan financier à l'intérieur du périmètre de la convention, dit périmètre EDL, les ventes d'immeubles interviennent au prix de revient, rémunération de l'EPAFrance comprise. Le bénéfice de la différence entre le prix de revient et celui du marché fait le profit de la société Euro Disney. Ce mécanisme est parfaitement justifié compte tenu des investissements privés engagés par cette société et du risque financier qui s'y attache en sachant, dans cette opération d'envergure, qu'un euro d'investissement public génère dix euros d'investissements privés.

Les actes de cession sont soumis au cahier des charges annexé au décret de création de l'Etablissement public qui doit garantir la bonne fin de l'utilisation

des immeubles acquis par voie d'expropriation.

Le volet foncier

L'action foncière correspondante est intervenue dans le cadre de zones d'aménagement différé (ZAD), une par commune, et d'une déclaration d'utilité publique (DUP) "réserve foncière" de 2 300 ha environ. Sous le titre "la maîtrise foncière d'Euro Disney à Marne-la-Vallée" cette action a été présentée, sous forme d'un poster, à la semaine professionnelle de la FIG qui s'est déroulée du 13 au 17 avril 2003 à la cité Descartes de Champs-sur-Marne dans les locaux de l'Ecole nationale des sciences géographiques. Le détail de cet exposé est accessible sur CD.rom disponible à l'AFT et sur le site internet de la FIG : www.fig.net.

En résumé, les acquisitions des terrains effectuées essentiellement à l'amiable ont été conduites dans la limite du 29 octobre 1997 terme de la prorogation, pour cinq années supplémentaires, de la DUP.

Cette opération d'envergure se termine actuellement par la fixation judiciaire des dernières indemnités d'expropriation dues aux propriétaires qui se sont révélés inconnus. C'est finalement 2 232 ha qui ont été appropriés par la puissance publique (l'Etat – Ministère de l'Equipement – et l'EPAFrance) représentant plus de huit cents dossiers de dépossession et plus d'une centaine de dossiers d'éviction d'exploitant agricole.

L'existence d'un protocole d'accord entre l'administration et les représentants des propriétaires et exploitants du secteur IV fixant les bases des indemnités a grandement facilité les négociations. On peut penser, même si l'incontestable préjudice moral des expropriés n'est pas indemnisable, que les sommes allouées aux intéressés ont été satisfaisantes. Pour preuve, il a été constaté que le nombre d'assujettis à l'impôt sur la grande fortune a décuplé sur la période dans le Nord seine-et-marnais.

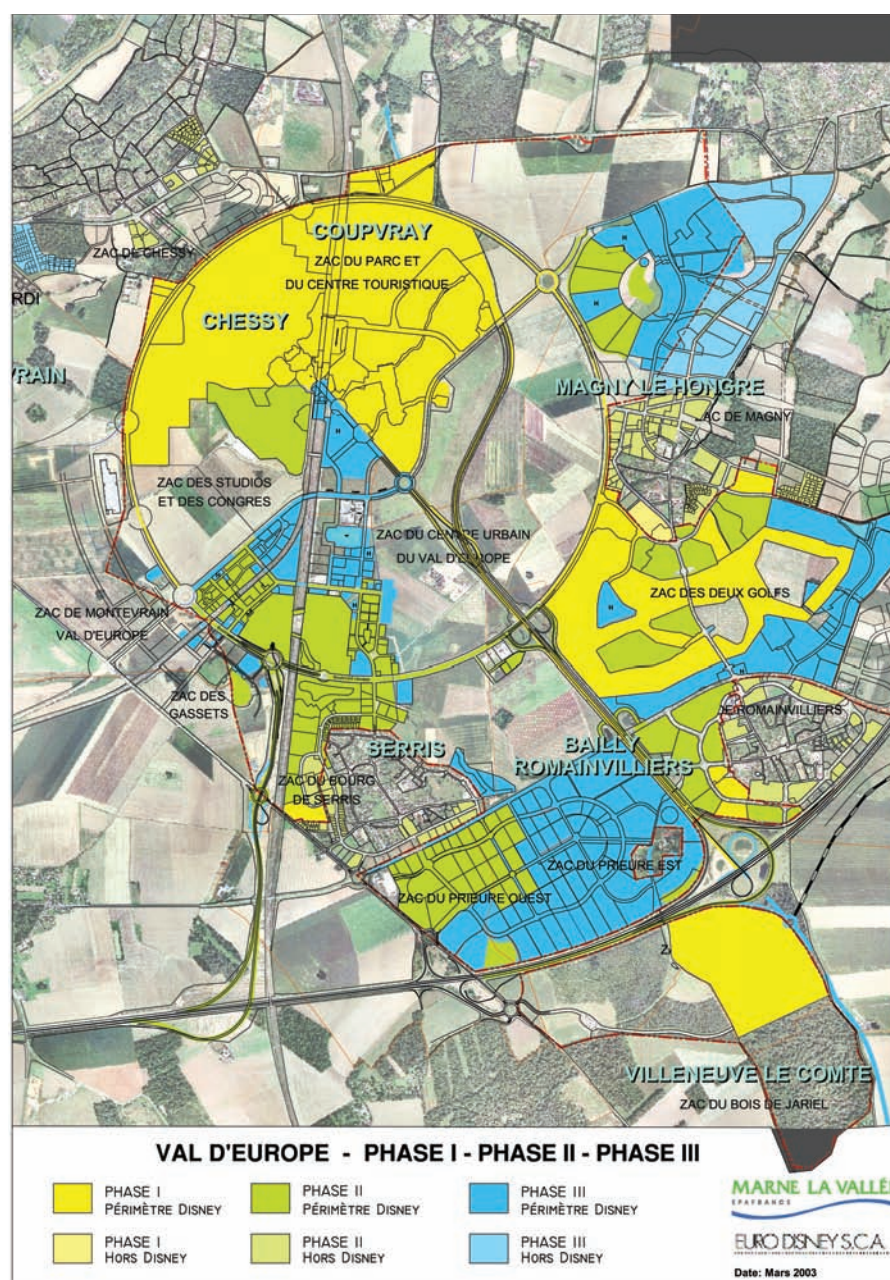
Ce protocole a également limité les recours au juge de l'expropriation. Les

dossiers soumis à l'arbitrage de la juridiction compétente concernaient la définition de la nature du terrain selon qu'ils étaient ou non partiellement équipés, qu'ils constituaient des vergers ou des bois selon leur degré d'entretien. Le juge a également été invité à donner acte des offres du domaine (en l'occurrence la Direction nationale d'interventions domaniales -DNID) pour les dossiers relatifs aux propriétaires inconnus ou décédés sans héritier. Dans ces derniers cas l'intermédiaire de l'administrateur provisoire a été recherché.

Pour la gestion du site, à dominante agricole, le maître d'ouvrage, EPAFrance, a maintenu à titre précaire et révocable les exploitants sur les terres expropriées. Pour certaines des terres encore cultivées actuellement la précarité dure depuis plus de quinze ans ce qui constitue un effet d'aubaine pour les bénéficiaires et ce dont personne ne se plaint.

La phase II

Conformément aux dispositions de la convention du 24 mars 1987, une nouvelle tranche d'aménagement, la phase II, a été signée le 9 décembre 1997. Son programme, déjà grandement réalisé à ce jour, donne une dimension urbaine au développement de Val d'Europe. Autour d'une nouvelle gare RER éponyme construite en limite des communes de Montevrain et Serris un véritable centre ville sort de terre. En quelques années, plus de mille six cents logements ont été mis en service, de même qu'un centre commercial à vocation internationale développant 90 000 m² de surface de vente. Centre de la dernière génération il est organisé autour d'une galerie couverte qui fait la part belle à la lumière du jour. Il comprend un hypermarché et nombre de boutiques dont certaines sont tournées vers la clientèle touristique. Ainsi, à l'est de l'implantation une rue piétonne à ciel ouvert a été aménagée. Dénommée La Vallée shopping village, elle est consacrée aux bonnes affaires des marques de luxe. Autour, un centre d'affaires



majeur se met en place avec la réalisation de 60 000 m² de bureaux. Enfin une première implantation universitaire (1 000 étudiants) y a ouvert ses portes en septembre 2002.

Entre temps, par voie d'avenant, la réalisation du second parc "Walt Disney Studios" plus spécialement dédié à l'image a augmenté le contenu du programme de la phase II. Euro Disney a tenu à ce que l'inauguration de ce deuxième parc d'attraction intervienne

le 12 avril 2002 soit dix ans, jour après jour, après celle du Royaume enchanté. Une nouvelle fois l'échéance a été respectée.

De même, en accompagnement du nouveau centre ludique, un deuxième quartier d'hôtels est sorti de terre. Ce quartier, dit du Val de France, prend forme avec la réalisation et l'ouverture de quatre autres ensembles hôteliers et leurs équipements, ensemble 1 150 chambres supplémentaires, dont l'ar-

■ ■ ■ chitecture s'inspire des châteaux, des manoirs et des commanderies.

En chiffres, la phase II représente 6 000 emplois, un milliard d'euros d'investissements privés et 100 000 euros d'investissements publics.

La phase III

La place d'Ariane, le véritable cœur de l'agglomération nouvelle la plus orientale de Marne-la-Vallée a été inaugurée le 9 juillet 2003. Mieux que personne, le ministre de l'équipement, Gilles de Robien a pu, dans son allocution, faire le bilan du réalisé et présenter le programme de la phase III qui engage une fois encore les parties publiques françaises : *"Ce développement (du secteur IV) est, me semble-t-il, un exemple réussi de partenariat entre la puissance publique et les acteurs privés. C'est surtout la constitution d'une ville complète avec ses services, son université, ses commerces, ses activités culturelles, bref une véritable cité offrant aux populations de la Seine-et-Marne une véritable alternative à l'attraction parisienne.*

Ce succès, on le doit aujourd'hui au dynamisme de la société Disney, à l'efficacité de l'établissement public EPA France, mais aussi la politique vigoureuse en faveur des transports qui a dès le début accompagné cet aménagement : autoroute A4 et A 104, RER A, et même le TGV.

Aujourd'hui nous franchissons une étape décisive. La troisième phase permettra l'extension du centre urbain de Val d'Europe et l'affirmation de sa vocation tertiaire, la création d'un centre

d'exposition et de congrès directement desservi par le TGV et le RER, atouts considérables, et la poursuite du développement résidentiel.

Au total, la création de 8 400 emplois, dans un secteur tertiaire touristique et des services, et l'accueil de 9 000 habitants, pour un investissement privé de 1, 2 milliards d'euros, et un investissement public de 100 millions d'euros."

Outre le centre d'exposition et de congrès, le programme comporte notamment un ensemble d'hôtels qui portera la capacité d'accueil du site à 9 000 chambres, 100 000 m² de bureaux, 30 ha de parcs d'activité, une extension du centre commercial de 10 000 m², la construction de 2 840 logements, l'agrandissement de l'université de Marne-la-Vallée, des améliorations de la desserte routière et une action culturelle par l'implantation d'œuvres monumentales sur les emplacements les plus significatifs de l'agglomération nouvelle.

Le projet "villages nature"

En prolongement de la phase III, la société Euro Disney et le groupe Pierre & Vacances ont annoncé le 19 mai 2003, au cours d'une conférence de presse, l'étude d'un projet touristique "les villages nature" tourné sur la détente, l'environnement, les activités sportives et de loisirs.

Implanté au sud de l'autoroute A 4 sur 560 ha ce projet constituerait une offre complémentaire à celle proposée par Disneyland Paris. L'opération concerne une partie du périmètre EDL sur les communes de Bailly-Romainvilliers et Villeneuve-le-Comte avec une exten-

sion, hors périmètre, sur les communes de Coutevroult et Villeneuve-le-Comte. La concertation engagée avec les collectivités locales concernées est d'ores et déjà positive. Les "villages nature" se voudront détendus et conviviaux et seront organisés autour des thèmes de l'Eau, de la Terre, du Sport et de la Forêt. On y trouvera, promettent les promoteurs, grâce aux équipements d'accueil et de loisirs : bien-être, remise en forme, activités sportives, ludiques et même éducatives. Pour garder le cadre rural, la surface construite sera limitée à 10 % de la superficie totale.

En terme économique, ce dernier projet ne peut pas laisser indifférent puisqu'il induirait une capacité totale de 5 000 unités de logement (appartement, résidence de tourisme, chambre d'hôtel) et créerait 4 000 emplois directs et 10 000 emplois indirects.

Cette nouvelle volonté des partenaires du secteur IV de Marne-la-Vallée est dans la veine des précédentes, ambitieuse, déterminée et réaliste. Nul doute que le public sera attentif aux conclusions de l'étude entreprise.

Ceci exposé, force est de constater que la convention du 24 mars 1987 porte tous ses fruits. Au bout de seize ans, plus de la moitié des terrains du périmètres EDL a reçu des aménagements et des affectations urbaines conformes aux prévisions d'origine. Nul doute qu'au terme des quatorze années pendant lesquelles la convention reste encore en vigueur la réalisation du projet sera achevée dans son ensemble.

L'importance considérable des investissements, le nombre d'emplois créés et

L'importance considérable des investissements, le nombre d'emplois créés et l'attraction touristique de Disneyland Paris font de Val d'Europe une collectivité territoriale active, une zone portée par le développement, riche de ses recettes fiscales. Fort d'une architecture néo-haussmanienne le centre urbain, non sans rappeler Paris, affirme

l'attraction touristique de Disneyland Paris font de Val d'Europe une collectivité territoriale active, une zone portée par le développement, riche de ses recettes fiscales. Fort d'une architecture néo-haussmanienne le centre urbain, non sans rappeler Paris, affirme son identité francilienne et rassure, s'il en était besoin, ceux qui craignent l'émergence à Marne-la-Vallée d'une "Disneyville". La toponymie s'emploie aussi, non sans humour, à l'affirmation de la culture européenne puisqu'on trouve à Val d'Europe aussi bien l'avenue Robert Schuman, que les avenues René Goscinny et Hergé.

La mono industrie du loisir à Val d'Europe inquiète certains dans l'hypothèse d'un retour de conjoncture ou d'une évolution du goût qui détournerait les "invités de Mickey Mouse" des parcs d'attraction. Pour l'heure, et on espère pour longtemps, Disneyland Paris contribue à faire de la France la première destination touristique du monde. Il est heureux que les visiteurs viennent aussi dans notre beau pays pour des réalisations d'aujourd'hui ce qui n'enlève rien au mystère de ses cathédrales, à la beauté de ses villages médiévaux et au charme de ses de châteaux.

Rendez-vous dans quatorze ans pour faire le bilan définitif de cette opération d'intérêt national à dimension européenne ! ●

ABSTRACT

Key words : Euro Disneyland, Marne-la-Vallée, program, land property

Presentation of the Sector 4 in Marne-la-Vallée new town.

Specificity of an urbanization including a leisure park of European scope.

Execution of the agreement between the French Public Authorities and Euro Disneyland Company at half-convention. Works in progress

© Photothèque EPAMarne / Yves Soulaillille & Jean-Paul Oudry



Gare TGV de Marne-la-Vallée/Chessy.

Les nouveaux textes réglementaires français en matière de précision des levés

■ Michel KASSER

Un nouveau texte réglementaire va être publié à brève échéance sous forme d'un arrêté, spécifiant les modalités d'évaluation des précisions de levés effectués sur fonds publics. Cet arrêté va se substituer avantageusement à celui de janvier 1980, et il introduit une analyse complètement nouvelle des travaux topographiques. Ce premier article présente les aspects généraux de cet arrêté : des spécifications de résultats au lieu de spécifications de moyens, une analyse des écarts avec des levés de contrôles au lieu d'études d'erreurs, et la systématisation de la mesure de l'écart moyen en position au lieu d'études d'erreurs moyennes quadratiques.

■ MOTS CLES

Spécifications techniques, précision des levés, évaluation de la précision.

Le groupe de travail "textes réglementaires" a été réuni par le CNIG en 2001 et 2002 pour étudier, dans le cadre de la loi LOADT (loi 95-115 d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire, modifiée par la loi n° 99-533), notamment son article 89, et du décret d'application 2000-1276 (relatif aux conditions d'exécution et de publication des levés de plans entrepris par les services publics), un texte permettant de remplacer l'arrêté de janvier 1980 relatif aux tolérances sur les levés aux grandes échelles, devenu largement obsolète et assez discutable dans le fond. Le présent dossier est destiné à vous permettre de prendre connaissance de ce nouveau texte, au travers de trois documents.

C'est afin de permettre un premier niveau d'approfondissement de l'arrêté que le premier document qui suit a été rédigé et longuement mis au point par ce groupe de travail. Il vous est proposé ici de le lire en premier, avant même le texte de l'arrêté, mais bien évidemment ces trois documents pourront très bien être lus dans un autre ordre. Il a été envisagé que ce texte puisse être publié comme une circulaire du Ministère de l'Équipement,

mais peu importe sa forme de diffusion officielle et finale : il est proposé ici comme une introduction au texte de l'arrêté, texte qui va impliquer de façon lourde l'ensemble des activités de topographie lorsqu'il sera publié. Et il s'agit d'une rédaction collective, le groupe de travail a essayé de ne pas y laisser subsister trop d'expressions difficiles à comprendre, ou dont l'interprétation pourrait être ambiguë.

Par ailleurs, le groupe a cherché à appuyer ses travaux sur une analyse statistique solide. Pour ce faire il s'est adjoint régulièrement les compétences de Patrick Sillard, alors ingénieur ENSG, docteur en Géodésie et chercheur au LAREG, et qui depuis 2002 travaille à l'INSEE après y avoir réussi le concours d'Administrateur. Il a également publié dans la collection de l'ENSG (Hermès-Sciences) un remarquable ouvrage sur la théorie des moindres carrés.

Nous présentons donc, comme seconde étude proposée dans ce dossier, les bases statistiques sur lesquelles sont basées les différentes formules utilisées au sein du texte de l'arrêté, rédigées donc par P. Sillard à la demande du groupe de travail. Il est essentiel en effet de bien comprendre pourquoi la notion d'écart moyen en position,

notion peu pratiquée jusqu'ici dans nos milieux professionnels, a été préférée finalement à la notion de moyenne quadratique, qui à un niveau très élémentaire au moins est très familière à beaucoup de praticiens. De même, il est important de bien comprendre pourquoi dans ce texte réglementaire on ne parle plus d'erreurs, mais simplement d'écarts par rapport aux mesures de contrôle. Et finalement, il faut insister aussi sur le fait que ce texte propose deux outils statistiques complètement différents. L'un, dont les bases sont expliquées dans cet article de P. Sillard, est le modèle dit "standard", et nous avons pensé qu'il serait employé de façon très courante, en quelque sorte par défaut. Il est en effet très facile à utiliser. Mais il ne faut surtout pas omettre l'autre possibilité qui est ouverte, celle du "gabarit d'erreurs", qui permet de traiter des situations plus particulières : on est ici dans le domaine du "cousu main", dont le modèle standard précédemment évoqué n'est qu'une des innombrables variantes.

Le troisième document du dossier est le texte de l'arrêté à proprement parler, approuvé par le CNIG en novembre 2002 et en cours de promulgation. Il a fait l'objet d'un gros travail

■ ■ ■

■ ■ ■ préparatoire, et a regroupé les efforts de tous les volontaires qui se sont manifestés au niveau national, en particulier de l'AFT (représentée par notre collègue J. Fleury), du Cadastre, de l'IGN, de l'OGE, etc.... Il n'a pas fallu moins d'une vingtaine de réunions de travail, menées dans un véritable enthousiasme compte tenu de l'importance de l'enjeu, pour que tous se mettent d'accord sur cette version, tant ce texte couvre des domaines divers.

Il y a longtemps (en 1993), je m'étais ouvert dans les présentes colonnes de mes inquiétudes face à l'obsolescence rapide de l'arrêté de 80, devenu presque inutilisable dans un nombre croissant de cas, et j'ai eu évidemment à cœur de participer auprès de mes collègues à ce travail que je crois très important pour nos professions. C'est donc avec beaucoup de plaisir que je vous présente ces premiers textes, par ailleurs assez innovants par rapport aux travaux menés à l'étranger, et qui montrent que l'impulsion donnée au CITOP de 1992 grâce à l'AFT, après une décennie, aura finalement été fructueuse. Dès que ce texte sera entré en vigueur, ce qui ne saurait tarder, nous publierons d'autres textes permettant de l'illustrer au mieux afin d'en faciliter la compréhension. Par ailleurs le CNIG a manifesté son désir de rester très actif pendant quelques années pour promouvoir ce nouveau cadre réglementaire et accompagner les professionnels afin qu'ils en perçoivent bien les tenants et aboutissants. Et parmi ceux-ci en particulier tous les bénéfices qui en résulteront dans leurs relations avec les donneurs d'ordres. Vous allez donc trouver pendant quelques trimestres dans les revues professionnelles françaises des publications régulières sur ce sujet, donc la présente commence simplement la série.

De toutes façons, vos réactions seront bienvenues, n'hésitez pas à faire remonter à votre revue les questions que vous vous posez, ceci permettra d'orienter au mieux les prochains articles.

Premier article

Conseils pour l'application de l'arrêté

Conseils pour l'application de l'arrêté du... portant sur les classes de précision applicables aux catégories de travaux topographiques réalisés par l'État, les collectivités locales ou pour leur compte.

1. Introduction

Le texte de l'arrêté considéré remplace l'arrêté de janvier 1980 sur les tolérances applicables aux levés à grandes échelles. Il a été conçu dans le but de tenir compte des évolutions des technologies de la saisie et de traitement des données, ceci afin de faciliter les relations entre les donneurs d'ordre et les entreprises prestataires exécutant les travaux topographiques divers.

Le nouveau texte ne spécifie en aucun cas les moyens à mettre en œuvre pour atteindre une certaine précision, mais simplement les outils statistiques à employer pour évaluer un lever donné. Ceci a été fait dans le but de responsabiliser séparément les donneurs d'ordre et les entreprises prestataires exécutantes.

- Pour les donneurs d'ordre, il s'agit de les inciter à ne spécifier que ce dont ils ont besoin réellement en termes de précision, compte tenu de leurs contraintes économiques et des responsabilités légales qui sont les leurs, sans tenir compte des moyens à mettre en œuvre pour atteindre cette spécification, moyens qui par ailleurs évoluent et ne sauraient en aucun cas être précisés sans faire perdre le bénéfice de ces évolutions.
- Pour les entreprises prestataires exécutantes, il s'agit de leur laisser une complète liberté de trouver le moyen le plus adapté pour une fourniture de données.
- Et pour les deux, ce texte crée une interface stipulant clairement sur quelles bases les contrôles de précision pourront être menés, contrôles d'exactitude faits par l'entreprise prestataire exécutante ou contrôles de recette faits par le donneur d'ordre ou à sa demande.

2. Le critère statistique : la classe de précision

Le texte offre plusieurs possibilités.

2. 1. Le gabarit d'erreurs

La possibilité la plus générale (article 2.2. de l'arrêté) offerte est celle d'une définition sur mesures d'un gabarit d'erreurs. On peut ainsi, entre autres possibilités et à titre d'exemple, changer les seuils adoptés du modèle standard décrit dans l'article 2.3. de l'arrêté.

2. 2. Le taux de rejet

Le modèle standard (article 2.3. de l'arrêté) utilise divers éléments de tolérance pour indiquer de façon simple ce qui est accepté ou rejeté dans une classe de précision donnée, et correspondrait pour un modèle Gaussien à deux taux de rejet aux seuils de 1 % et 0.01 %. Dans ce cas la classe de précision repose sur trois critères à remplir simultanément, une erreur moyenne en position, le nombre d'objets dépassant le premier seuil de tolérance, et la non-conformité systématique d'objets dépassant le second seuil de tolérance.

2. 3. Le modèle standard

Enfin, la notion de classe de précision [xx] cm implique l'emploi du modèle standard (2.3 de l'arrêté). Elle se substitue aux anciennes classes de précision de l'arrêté de 80, alors en nombre limité. Désormais il est possible de créer autant de classes de précision que nécessaire, et l'appartenance à une classe donnée passe par le respect simultané des 3 critères déjà évoqués. Par ailleurs, ces critères reposent exclusivement sur la mesure de l'écart moyen en position $E_{\text{moy pos}}$ déduit des écarts en position Epos des objets choisis pour le test, cet écart ayant un sens physique plus évident que des écarts sur des coordonnées. En explicitant ces termes :

- Par exemple $E_{\text{pos}} = \sqrt{(X_{\text{contrôle}} - X_{\text{objet}})^2 + (Y_{\text{contrôle}} - Y_{\text{objet}})^2}$ pour un test portant uniquement sur deux coordonnées planimétriques d'un objet donné,
- pour un test portant sur une coordonnée planimétrique $= E_{\text{pos}} |x_{\text{contrôle}} - x_{\text{objet}}|$
- $E_{\text{moy pos}} = \frac{E_{\text{pos1}} + E_{\text{pos2}} + \dots + E_{\text{posn}}}{n}$ pour n objets testés.

Il convient de bien noter le caractère

conventionnel des trois critères adoptés pour la définition du modèle standard et de ses deux seuils de tolérances. Ceux-ci ont été définis par analogie avec ce que fournirait un modèle d'erreurs strictement gaussiennes pour des seuils de tolérance à 1 % et à 0,01 %, pour des mesures de contrôle effectuées sur une proportion importante des données livrées. Bien évidemment il convenait aussi de disposer d'un outil de travail pour des contrôles d'objets géographiques portant sur des échantillons réduits, mais dont la valeur statistique est également réduite, et/ou portant sur des objets dont le modèle d'erreur n'est pas gaussien, ce qui représente les cas les plus courants. Le modèle standard proposé permet ainsi aux donneurs d'ordres et aux entreprises prestataires exécutantes de disposer d'un outil de travail commun et bien défini, indépendamment de son éventuelle valeur statistique, les tailles d'échantillon et plus généralement les modalités d'échantillonnage étant définies par voie contractuelle.

3. Les modalités de contrôle

Tout contrôle implique l'emploi de mesures de contrôle fournissant a priori des résultats d'une précision au moins deux fois meilleure que celle des objets à tester. La précision des mesures de contrôle sera déduite des règles de l'art et des connaissances généralement admises par les professionnels (en faisant telles mesures avec tels appareils selon telles méthodes, on obtient telle précision). Une mesure de contrôle n'implique pas nécessairement l'emploi d'autres instruments : on peut souvent obtenir une meilleure précision avec les mêmes instruments et des méthodes opératoires différentes, par exemple des mesures de plus longues durées (cas du GPS), ou avec plus de répétitions (cas des mesures au théodolite), etc.

Dans tous les types de levés, le texte propose de traiter de façon séparée l'erreur interne du lever et l'erreur de mise en référence, mais permet également de ne considérer que l'erreur totale. Ceci permet de traiter tous les cas rencontrés, du lever très précis (par exemple, micro-géodésie pour l'aus-

cultation d'ouvrages de génie civil) et pas forcément rattaché au réseau légal puisque le rattachement est bien moins précis que le lever, jusqu'au canevas de précision pluri-décimétrique pour lever des objets pour un SIG de précision métrique, où le rattachement au réseau légal peut être bien plus précis que le lever lui-même.

Pour le contrôle d'objets géographiques (art 3.2.2.), le texte de l'arrêté ne traite pas les problèmes spécifiques aux différents interpolateurs utilisables pour décrire une courbe à partir de quelques points levés. Par exemple, un rond point peut, dans un cas tout à fait minimaliste, être déterminé par trois points levés, le rond-point étant décrit comme un cercle parfait passant par ces trois points. Cette tactique est risquée (aucun contrôle), et il pourra être requis (dans les spécifications du "terrain nominal") que dans un tel cas il y ait un minimum de 4 ou même de 10 points réellement levés : ce type de spécification doit rester du domaine du contrat entre le donneur d'ordre et l'entreprise prestataire exécutante, et l'arrêté n'a pas à introduire de contraintes en la matière. Par contre il est clair que si le contrôle ne tient pas compte des points réellement levés, ce ne sont plus les qualités géométriques des points levés qui sont évaluées, mais également celles de l'interpolateur utilisé (p. ex. il y a bien des façons de faire passer une courbe par 6 points levés). Dans ce cas on pourrait s'attendre à des conflits sans fin sur "quel est le meilleur outil d'interpolation", et autres problèmes de ce type, qui ne sont pas du domaine d'un règlement mais plutôt de celui de spécifications particulières, base de la relation entre le donneur d'ordre et l'entreprise prestataire exécutante. L'arrêté précise donc que les contrôles doivent être effectués à proximité immédiate des points réellement levés, parce qu'en ces points les différences entre les interpolateurs possibles ne créent pas de différence appréciable dans les résultats obtenus.

4. Le rattachement

La classe de précision de rattachement demandée doit être déterminée par le donneur d'ordre en fonction de ses contraintes économiques et des risques

encourus par un rattachement de classe précision insuffisante.

Il nécessite au moins la mesure de deux références différentes, compte tenu du risque d'instabilité des repères, ce chiffre de deux étant un minimum : les entreprises prestataires exécutantes sont encouragées à en utiliser davantage lorsqu'elles en ont la possibilité. La discordance résultant de ces deux rattachements conditionne aussi la classe de précision du rattachement (voir annexe). L'erreur interne est par exemple évaluée au travers d'un calcul de l'ensemble des mesures sous forme de "réseau libre", sans introduire les éléments de rattachement au réseau d'appui. Ensuite sur un ensemble de points servant au contrôle, les coordonnées ainsi obtenues "en réseau libre" sont comparées aux coordonnées de contrôle. Pour ce faire on appliquera aux coordonnées "en réseau libre" la translation et la rotation qui minimisent au mieux les écarts obtenus : le texte laisse la liberté complète aux intéressés pour employer la méthode "la plus favorable possible", mais la solution la plus habituelle consiste à calculer cette translation et cette rotation par moindres carrés. Par contre n'est pas laissée ouverte la possibilité d'appliquer une correction de facteur d'échelle aux coordonnées publiées, le donneur d'ordre n'ayant pas vocation à entrer dans ce genre de post-traitement lorsqu'il réceptionne un lot de coordonnées.

Le cas de l'emploi d'une station GPS permanente comme référence ne nécessite pas pour autant le recours de façon obligatoire (même si ce recours est vivement conseillé) à un autre élément de rattachement (autre station GPS, borne,...) si cette station fait l'objet d'un contrôle régulier de la qualité des coordonnées fournies (cas du RGP, réseau GPS permanent, dont l'IGN contrôle les données en général chaque semaine).

Le géomètre est toujours encouragé à utiliser des méthodes offrant des contrôles internes et une certaine surabondance de mesures par rapport au strict minimum indispensable au calcul des coordonnées des objets, ceci afin de mettre en évidence d'éventuelles fautes. ■■■

- La redondance peut être mise à profit pour évaluer les ellipses d'erreurs des points levés lors de compensations par moindres carrés, et une étude soignée des ellipses d'erreurs permet aisément de repérer les zones les moins bien déterminées, par exemple pour y effectuer préférentiellement des contrôles de respect de la classe de précision spécifiée.

5. Relations donneur d'ordre - entreprise prestataire exécutive

5.1. Nombre de points contrôlés

L'interface en matière de précision entre le donneur d'ordre et l'entreprise prestataire exécutive est ainsi, pour des objets géographiques, définie uniquement par les résultats de contrôles ponctuels indépendants des mesures ayant servi à la détermination d'origine : il faut néanmoins effectuer ces sondages, toujours onéreux, avec une exhaustivité qui dépendra du niveau de risque assumé par le donneur d'ordre, les modalités de contrôle faisant partie des éléments du contrat. Ainsi pour des bases de données ayant une importance capitale, il pourra être normal de contrôler tous les points levés, alors que pour des levés peu critiques, un contrôle pourra porter sur un sous-ensemble réduit de ces points...

Le texte spécifie donc bien sur quelles bases les cahiers des charges sont établis, et l'entreprise prestataire exécutive est ainsi parfaitement informée des types de contrôles que le donneur d'ordre est fondé d'effectuer pour procéder à la recette technique du levé qu'il a commandé : il peut lui-même en effectuer sur la même base, à titre de contrôle qualité de sa production.

5.2 Précision interne, précision de rattachement, précision totale

Le donneur d'ordre n'est pas obligé, pour des canevas, de rentrer dans le détail de spécifications de précision interne, et/ou de précision de rattachement. Il peut aussi utiliser les concepts de précision planimétrique et/ou altimétrique totale, qui sont la combinaison des deux précédentes et peuvent s'avérer suffisants dans de nombreux cas. Il

faut bien noter qu'il existe un lien entre la précision interne, la précision de rattachement et la précision totale : si le modèle d'erreurs est à peu près Gaussien, la précision totale spécifiée est égale à la somme quadratique de la précision interne, de la précision de rattachement, et de la précision du réseau de référence. La logique de travail veut que l'on évalue la précision totale $[yy]$ de toutes façons, car il s'agit du processus le plus simple et qui constitue la meilleure interface possible entre le donneur d'ordre et l'entreprise prestataire exécutive. Et si les spécifications le stipulent, il est fait appel à une évaluation de la précision interne $[xx]$. On en déduit alors la précision de rattachement $[zz]$ (qui inclut alors nécessairement celle du réseau d'appui et ne peut donc lui être inférieure), et $[yy]^2 = [xx]^2 + [zz]^2$. Du point de vue de l'entreprise prestataire exécutive, il est recommandé de commencer par une compensation en "réseau libre" qui permet une bonne auto-évaluation de la qualité des mesures, et au besoin une aide à la recherche de fautes. On peut aussi en tirer une évaluation de l'erreur interne.

6. Classes de précision (selon le nouvel arrêté) des anciennes "catégories de levés" de l'arrêté du 21-1-80

L'arrêté de 80 étant largement basé sur des spécifications de moyens, il n'y a souvent aucune possibilité de donner un équivalent à certaines catégories qui y figurent. Il en est ainsi pour les canevas d'ensemble, les canevas polygonaux, les canevas altimétriques ou les travaux photogrammétriques. Par contre il est possible de tenter un rap-

prochement pour les "levés de détail et vérification des plans", qui introduisent les catégories P1 à P7 en planimétrie et A1 à A6 en altimétrie. En première approximation, les classes de précision du nouvel arrêté correspondent à peu près aux coefficients "Q" mentionnés en V-B-1.2 et V-B-2.2 de l'arrêté de 80, soit donc : (voir le tableau)

Cette correspondance ne peut pas être rigoureuse compte tenu des bases statistiques de l'arrêté de 80 qui sont différentes de celle du présent arrêté. Par exemple, dans l'arrêté de 80 il n'y a pas de prise en compte du nombre de coordonnées considérées. De même, les différents seuils de tolérances sont évalués sur des bases autres (un seul seuil de tolérance dans l'arrêté de 80 au lieu de deux dans le nouvel arrêté). ●

ABSTRACT

Key words : Evaluation of surveys, precision, legal specifications

All topographic surveys performed by national or local Administrations on public funds in France have to be specified and checked according to the precision specifications described in a new legal text that is about to be published officially. The text aims at easing the relations between the administrations and the contractors providing the surveys. The text does not specify in any way the technical solutions to use, but only the statistical formulas to use for the quality evaluation of a given survey, in order to leave the maximum of responsibility to the contractors.

Catégorie planimétrique	coefficient Q en cm, classe de précision approchée en cm	Catégorie altimétrique	coefficient Q en cm, classe de précision approchée en cm
P1	2	A1	1
P2	4	A2	2
P3	10	A3	4
P4	20	A4	10
P5	40	A5	20
P6	100	A6	>20
P7	>100		

Arrêté sur les classes de précision applicables aux catégories de travaux topographiques : quelques aspects statistiques

■ Patrick SILLARD

Cet article explicite les notions statistiques utilisées dans le texte du futur arrêté sur la précision des levés topographiques effectués en France sur fonds publics. Il explique le choix de la notion d'écart moyen en position, qui a été préféré aux outils plus classiques mais inadaptés comme l'erreur moyenne quadratique. Il explique également l'origine des valeurs numériques et des différentes formules employées dans le texte du futur arrêté.

■ MOTS CLES

Précision d'un lever topographique, erreur moyenne en position, écarts avec un lever de contrôle.

L'objectif de ce texte est d'exposer les principes qui ont conduit à la détermination des tolérances statistiques retenues dans l'article 2, §3 de l'arrêté.

1 Considérations générales

L'article 2 de l'arrêté vise à définir un ensemble de critères cohérents et faciles à mettre en œuvre pour caractériser la précision de levés. Il est évident que la moyenne des erreurs propres aux objets d'un lever ou tout échantillon de l'ensemble d'objets n'est pas suffisante pour caractériser le comportement statistique de l'erreur. Par exemple, considérons deux ensembles de 20 objets. Les moyennes des erreurs des deux levés sont les mêmes, par exemple 5 cm. Supposons que pour le premier lever, il y ait deux objets pour lesquels l'erreur dépasse 30 cm, alors qu'il n'y en a pas dans le second : intuitivement le second semble de meilleure qualité que le premier. **Ainsi, le critère de moyenne ne sera pas suffisant à lui seul.**

La démarche sous-jacente au texte de l'arrêté est, puisque la moyenne n'est pas suffisante, de compléter la procédure en vérifiant la concordance de la fréquence de certains événements avec l'hypothèse d'erreurs gaussiennes.

En pratique, on fait intervenir deux niveaux de tolérance (les seuils retenus sont 1% et 0.01%), ainsi qu'une « erreur moyenne en position ». Leur utilisation dans la qualification d'un lever pour une classe de précision <xx> est la suivante :

1. L'erreur moyenne en position du lever est inférieure ou égale à <xx> cm.
2. Le nombre d'objets pouvant dépasser le premier seuil de tolérance à 1% est strictement quantifié¹. Le nombre maximal d'objets hors tolérance autorisé se déduit de la distribution gaussienne des erreurs et d'un seuil de confiance fixé ici à 99%².
3. Afin d'éviter que des objets ne soient affectés d'erreurs grossières incompatibles avec l'hypothèse d'erreurs gaussiennes, une troisième quantité intervient : il s'agit du deuxième seuil de tolérance, à 0.01%. Elle constitue la borne supérieure de l'erreur en position réputée admissible pour un objet quelconque, et ceci indépendamment du nombre d'objets considéré.

Un lever dont l'erreur moyenne sur les objets bien définis est supérieure à <xx>, ou bien dont le nombre d'objets dépassant la tolérance à 1% est supérieur au nombre requis (nombre issu de l'hypothèse d'une erreur moyenne de <xx>), ou enfin qui possède un objet dont l'erreur en position est supérieure au deuxième seuil de tolérance n'est pas de *classe de précision* <xx>.

¹Rappelons qu'en *moyenne*, le rapport du nombre d'objets dépassant la tolérance à 1% sur le nombre total d'objets considéré dans un échantillon est, par définition, de 1%. Cette proportion est respectée *en moyenne*, donc en pratique, pour un échantillon donné, elle ne l'est pas nécessairement. Cet apparent paradoxe vient du fait que distribution empirique et distribution théorique d'un échantillon sont deux notions qui ne coïncident que lorsque la taille de l'échantillon est infinie. Néanmoins, le rapport entre nombre d'objets hors tolérance et taille de l'échantillon pour un échantillon donné reste un élément de contrôle de la distribution. Il faut juste tenir compte du fait que l'on travaille à taille d'échantillon finie.

²En d'autres termes, ce nombre d'objets est déterminé de sorte que la probabilité théorique de trouver davantage d'objets hors tolérance pour un échantillon réellement gaussien soit inférieure à 1%.

2 Etude de l'erreur en position

2.1 Choix de la variable « erreur en position »

On introduit l'hypothèse gaussienne de la façon suivante : si l'objet est un point, c'est-à-dire que sa position est représentée avec plus d'une coordonnée, il faut définir une variable aléatoire issue des coordonnées représentant l'erreur en position. C'est à partir de cette variable que l'on décidera si un point est hors tolérance ou non. Cette variable doit donc être indépendante du système de coordonnées. Le choix naturel retenu dans ces conditions est la distance euclidienne. Moyennant quoi, l'erreur en position sera exprimée par :

$$\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (1)$$

où n est le nombre de coordonnées définissant la position du point ($n \in \{1, 2, 3\}$), et e_i l'erreur commise sur la coordonnée i .

Comme par construction $\Delta > 0$, on ne peut pas supposer que Δ suive une loi normale (pour laquelle Δ pourrait être négative). Afin de construire des seuils basés sur un estimateur de Δ , il convient de déterminer la loi de Δ sous des hypothèses simples relatives à l'erreur de mesure. Nous supposons donc que l'erreur sur chaque coordonnée suit une loi normale $\mathcal{N}(0, \sigma^2)$ (dans un système de coordonnées quelconque pourvu qu'il soit orthonormé).

2.2 Construction de la tolérance à deux seuils

Considérons la variable aléatoire Δ . On peut définir de manière générale une borne B dépendant d'un seuil α par la relation³

$$P[\Delta > B(\alpha)] = \alpha$$

La probabilité que Δ soit plus grande que $B(\alpha)$ correspond ainsi simplement au seuil α .

La loi de Δ est dérivée de la loi gaussienne suivie par les coordonnées des objets. Cette loi est différente selon que le nombre n de coordonnées caractérisant la position d'un objet est de 1, 2 ou 3. B dépend de ce nombre de coordonnées⁴.

Formellement, B dépend aussi du paramètre σ caractérisant l'écart-type de la loi gaussienne. On peut aussi caractériser B via le paramètre de moyenne de Δ . On note δ cette quantité, qui se déduit de σ par des relations analytiques simples. On montre que

$$B(\alpha, \delta) = \delta \tau(\alpha) = \sigma \tau'(\alpha)$$

τ' étant indépendant de σ et τ étant indépendant de δ . **La symétrie des relations montre qu'il est équivalent de définir B à partir de σ ou à partir de δ .** Pour des raisons qui sont exposées dans le paragraphe suivant, la relation de définition retenue pour la suite de l'exposé est la relation :

$$B(\alpha, \delta) = \delta \tau(\alpha) \quad (2)$$

Ainsi qu'il a été précisé en introduction, le texte de l'arrêté fait intervenir deux seuils de tolérance : un seuil $T1$ correspondant à 1%, et un seuil $T2$ correspondant à 0.01%. Formellement,

$$\begin{cases} T1 &= B(1\%, \delta) = \tau(1\%) \times \delta \\ T2 &= B(0.01\%, \delta) = \tau(0.01\%) \times \delta \end{cases}$$

Les tables (1) et (2) donnent les valeurs de τ calculées pour $\alpha = 1\%$ et $\alpha = 0.01\%$ respectivement. Le rapport $\frac{\tau(0.01\%)}{\tau(1\%)}$ est toujours inférieur à 1.5. On convient donc, dans le texte de l'arrêté, que $T2 = 1.5 \times T1$.

³ $P[\mathcal{A}]$ désigne la probabilité de l'événement \mathcal{A}

⁴ Les densités de Δ sont respectivement pour $n = 1, 2$ et 3 : $f_1(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$; $f_2(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$ (loi de Rayleigh) ; $f_3(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{x^2}{\sigma^3} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$ (loi de Maxwell). Toutes ces densités sont définies pour $x \geq 0$. Elles sont nulles pour $x < 0$

n	1	2	3
τ	3.23	2.42	2.11

TAB. 1 – Valeurs du facteur τ en fonction du nombre n de coordonnées caractéristiques de la position d'un objet, au seuil de 1%.

n	1	2	3
τ	4.88	3.42	2.88

TAB. 2 – Valeurs du facteur τ en fonction du nombre n de coordonnées caractéristiques de la position d'un objet, au seuil de 0.01%.

n	1	2	3
τ'	2.58	3.03	3.37

TAB. 3 – Valeurs du facteur τ' en fonction du nombre n de coordonnées caractéristiques de la position d'un objet, au seuil de 1%.

n	1	2	3
τ'	3.90	4.28	4.60

TAB. 4 – Valeurs du facteur τ' en fonction du nombre n de coordonnées caractéristiques de la position d'un objet, au seuil de 0.01%.

Il aurait été possible à ce stade d'adopter comme paramètre σ et non δ . Dans ce cas, le paramètre $\tau'(\alpha = 1\%)$ est différent du paramètre $\tau(\alpha = 1\%)$. Les valeurs de $\tau'(\alpha = 1\%)$ sont indiquées à la table (3). Le rapport des seuils à 1% et 0.01% est conservé. Pour mémoire, les valeurs de $\tau'(\alpha = 0.01\%)$ sont indiquées à la table (4).

Qu'il s'agisse du paramètre δ ou du paramètre σ , l'un comme l'autre interviennent comme facteurs d'échelle inconnus de la loi de Δ . Il faut donc estimer l'un de ces paramètres à l'aide d'un échantillon pour déterminer l'ensemble des valeurs numériques entrant dans le processus de qualification. On montre dans le paragraphe suivant qu'il est plus efficace d'estimer δ que σ ce qui justifie l'adoption du premier pour le texte de l'arrêté.

3 Estimation de δ et σ via un échantillon d'erreurs en position

δ ou σ jouent un rôle de facteur d'échelle de la loi de Δ . Un échantillon d'erreurs permet de construire un estimateur de l'un ou l'autre de ces paramètres.

Considérons un échantillon de N objets pour lesquels on dispose d'une réalisation de N variables « erreur en position » notées $(\Delta^j)_{j \in \{1, \dots, N\}}$. On suppose que toutes les Δ^j suivent la même loi de variable parente Δ étudiée à la section précédente.

Un estimateur de δ est donné simplement par la moyenne arithmétique des Δ^j . C'est un estimateur sans biais et efficace (il n'est pas possible de construire un estimateur de δ plus précis que la moyenne arithmétique sur la base de l'échantillon proposé).

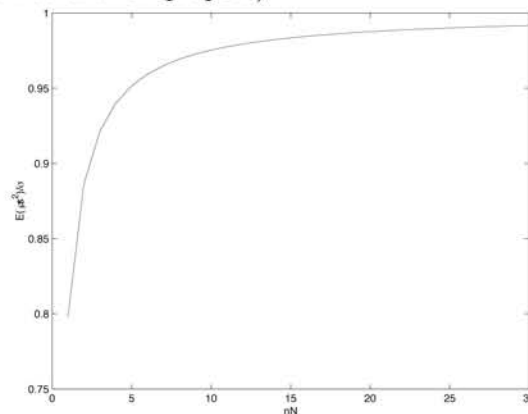


FIG. 1 – Tracé du rapport $\frac{E(\sqrt{s^2})}{\sigma}$ en fonction de nN

- ■ ■ Pour σ , la construction d'un estimateur est plus compliquée : la moyenne quadratique des erreurs sur chaque coordonnée conduit à un estimateur sans biais de σ^2 .

$$\hat{s}^2 = \frac{1}{nN} \sum_{j=1}^N \Delta_j^2 = \frac{1}{n \times N} \sum_{\substack{i \in \{1, \dots, n\} \\ j \in \{1, \dots, N\}}} (e_i^j)^2$$

Malheureusement, $\sqrt{\hat{s}^2}$ n'est nullement un estimateur sans biais de σ . Le graphique (1) montre le rapport⁵ $\frac{\mathbb{E}(\sqrt{\hat{s}^2})}{\sigma}$ pour les premières valeurs du produit $n \times N$ (c'est à dire du nombre de coordonnées contrôlées). Pour les premières valeurs (c'est-à-dire pour des échantillons de faible taille), les différences peuvent être considérables (jusqu'à 20%). Lorsque nN devient grand, le rapport précédent tend vers 1. De sorte que $\sqrt{\hat{s}^2}$ conduit à une bonne estimation de σ . Ainsi, si cette estimation devait être utilisée pour déterminer la tolérance, il conviendrait pour les échantillons de faible taille de corriger l'estimation d'un facteur inverse aux valeurs tracées à la figure (1).

Devant la relative complexité d'utilisation de la moyenne quadratique des erreurs et la grande simplicité de la moyenne arithmétique, il a été décidé de ne faire référence, dans le texte de l'arrêté, qu'à la moyenne arithmétique.

Lorsque la taille des échantillons est grande (typiquement lorsque $nN > 25$), on peut utiliser la moyenne quadratique des erreurs pour déterminer la tolérance. Dans ce cas, la formule *ad hoc* est

$$B(\alpha, \sigma) = \sigma \times \tau'(\alpha)$$

où les valeurs prises par τ' sont données aux tables (3) et (4).

4 Etude du nombre de points dépassant la tolérance à 1%

Considérons un échantillon de N objets pour lesquels on dispose d'une réalisation de N variables « erreur en position » notées $(\Delta^j)_{j \in \{1, \dots, N\}}$. On suppose que toutes les Δ^j suivent la même loi de variable parente Δ . La première composante de la tolérance est par définition la borne $T1$ telle que

$$P[\Delta > T1] = 1\%$$

⁵ \mathbb{E} désigne l'espérance mathématique ; si $\sqrt{\hat{s}^2}$ était un estimateur de σ , alors par définition $\mathbb{E}(\sqrt{\hat{s}^2}) = \sigma$

Soit n le nombre d'objets hors tolérance dans un échantillon de taille N . Alors on montre que n suit une loi binômiale de paramètres N et 1%. Compte tenu de cette relation, on dispose pour tout k de la probabilité $P[n \geq k]$. Ceci permet en particulier de trouver k_0 tel que

$$\begin{cases} P[n > k_0] < 1\% \\ P[n \geq k_0] \geq 1\% \end{cases}$$

Dans ce cas, k_0 apparaît comme le nombre maximal d'objets que l'on peut trouver hors tolérance avec un seuil de confiance de 99%. Autrement dit, dans le cas gaussien, la probabilité de trouver plus de k_0 objets hors tolérance est strictement inférieure à 1%. Dans cette construction, 1% est à la fois le seuil qui détermine la tolérance et celui qui détermine la fréquence d'objets hors tolérance.

On montre qu'une approximation de k_0 est donnée par (application du théorème central limite)

$$k_0(N) = 0.01 \times N + 0.232 \times \sqrt{N}$$

On retiendra donc pour k_0 l'entier immédiatement supérieur à cette quantité.

5 Problème posé par les erreurs des mesures de contrôle.

Les coordonnées établies lors du contrôle sur certains points du lever sont elles-mêmes imprécises, et on les suppose modélisées par une loi normale centrée et d'écart type s . L'erreur en position mesurable s'écrit alors

$$\Delta' = \sqrt{\sum_{i=1}^n (e_i + \varepsilon_i)^2}$$

où e_i est la variable aléatoire erreur sur la coordonnée i de l'objet considéré, ε_i l'erreur sur la coordonnée i de l'objet de référence considéré. Δ' est l'erreur en position mesurable, à comparer à Δ (équation 1). En supposant que les e_i et ε_i sont toutes indépendantes, alors la variable $(e_i + \varepsilon_i)$ suit la loi $\mathcal{N}(0, \sigma^2 + s^2)$, de sorte que les σ apparaissant dans les expressions précédentes doivent être remplacés par $\sqrt{\sigma^2 + s^2}$. Il s'ensuit que l'erreur moyenne en position mesurable Δ' est dilatée du facteur

$$\frac{\sqrt{\sigma^2 + s^2}}{\sigma} = \left(1 + \frac{s^2}{\sigma^2}\right)^{1/2}$$

par rapport à l'erreur moyenne vraie Δ (celle qu'on obtiendrait si le contrôle était parfaitement exact). Or ce n'est que par rapport à Δ' que peut être construite la tolérance T , alors que c'est Δ qui doit caractériser la classe de précision. Le rapport τ reste égal au rapport entre $T1'$ et Δ' . Par contre, l'« écart moyen en position »⁶ (caractérisé par Δ') est supérieur à la classe de précision $\langle xx \rangle$ (caractérisée par Δ) d'un facteur $\left(1 + \frac{s^2}{\sigma^2}\right)$. L'écart moyen sur les points de contrôle (erreur moyenne en position lorsque

la référence est exacte) ne doit donc pas être supérieur à $\left(1 + \frac{s^2}{\sigma^2}\right)^{1/2}$ fois la classe de précision.

Comme on ne considère que les cas où s est petit devant σ (les coordonnées des points de contrôle sont nettement plus précises que dans le lever original), on peut alors utiliser l'approximation :

$$\left(1 + \frac{s^2}{\sigma^2}\right)^{1/2} \simeq 1 + \frac{s^2}{2\sigma^2}$$

Cette dernière relation étant un majorant de $\left(1 + \frac{s^2}{\sigma^2}\right)^{1/2}$, c'est cette expression qui est retenue dans l'arrêté.

⁶on abandonne le terme d'erreur qui devient impropre

ABSTRACT

Key words : precision of surveys, mean error in position, discrepancies with reference surveys.

This paper presents the statistical tools used in the new legal texts that will be soon in force in France. It explains why the notion of mean discrepancy in position has been preferred to the more classical notion of mean quadratic error. It explains also the various numeric figures that appear in the formulas used for the standard model.

Projet d'arrêté

texte soumis au visa du Ministre et approuvé par le CNIG

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT

Arrêté du portant sur les classes de précision applicables aux catégories de travaux topographiques réalisés par l'État, les collectivités locales, ou pour leur compte.

NOR : EQUIP.....

Le ministre de l'équipement, des transports et du logement,

Vu la loi n° 95-115 du 4 février 1995 d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire, modifiée par la loi n° 99-533 du 25 juin 1999 d'orientation pour l'aménagement et le développement durable du territoire, notamment son article 89,

Vu le décret n° 2000-1276 du 26 décembre 2000 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 ;

Vu le décret n° 92-706 du 21 juillet 1992 modifiant le décret n° 85-790 du 26 juillet 1985 relatif au rôle et à la composition du Conseil national de l'information géographique ;

Vu l'arrêté interministériel du 20 mai 1948 fixant les conditions d'exécution et de publication des levés de plans entrepris par les services publics ;

Vu l'arrêté du 21 janvier 1980 fixant les tolérances applicables aux levés à grande échelle entrepris par les services publics ;....

Vu l'avis du Conseil national de l'information géographique dans sa séance du.....,

Arrête,

article 1. OBJET

Tous les travaux topographiques réalisés par l'État, les collectivités locales ou pour leur compte, visés à l'article 89 de

la loi du 4 février 1995 susvisée, doivent être spécifiés et évalués selon les classes de précision définies dans le présent arrêté et son annexe, à l'exception des levés hydrographiques soumis à la norme de l'Organisation Hydrographique Internationale, publication spéciale N° 44.

article 2. SPÉCIFICATIONS ET CLASSES DE PRÉCISION

Les écarts déterminés lors des contrôles des levés topographiques permettent de vérifier le respect de la classe de précision de ceux-ci. Lors de levés d'objets géographiques, les mesures d'écarts s'appliquent sur des points caractéristiques des objets levés, bien identifiés et ne présentant aucun caractère d'ambiguïté. Ces points sont comparés aux points correspondants du terrain nominal. La précision d'un lever d'objets géographiques peut être spécifiée de deux façons : soit par un gabarit d'erreurs spécifique, soit par un modèle standard.

2.1. Contrôles par échantillonnage.

La position des points est définie par 1, 2 ou 3 coordonnées, et parmi celles-ci on ne comptabilise ensemble que celles qui suivent un même modèle statistique, selon la nature des levés (un lever altimétrique concerne une coordonnée, un lever planimétrique, deux, un lever tridimensionnel isotrope, trois, mais un lever tridimensionnel dont le modèle statistique planimétrique est différent du modèle statistique altimétrique fera l'objet de traitements séparés pour les deux coordonnées planimétriques et pour la coordonnée altimétrique). L'écart en position Epos pour un point donné, par rapport à sa position issue d'un contrôle, est défini par la distance euclidienne, c'est-à-dire la racine carrée de la somme des carrés des écarts sur chacune des coordonnées soumise à la même classe de précision.

Une mesure n'est considérée comme mesure de contrôle que lorsque sont mis en œuvre des procédés fournissant une précision meilleure que celle de la classe de précision recherchée, avec un coefficient de sécurité C au moins égal à 2 (C est le rapport entre la classe de précision des points à contrôler et celle des déterminations de contrôle, classe de précision qui est elle-même évaluée selon les règles de l'art). La taille et la composition de l'échantillon d'objets géographiques de contrôle sont précisées par contrat.

2.2. Classes de précision pour un gabarit d'erreurs.

Un gabarit d'erreurs est déterminé par une courbe, un histogramme ou une table de valeurs, précisant pour chaque catégorie d'objets géographiques, et pour chaque classe de valeurs d'écarts, le nombre toléré d'écarts dépassant le seuil correspondant.

Pour chaque catégorie d'objets géographiques, on spécifiera le pourcentage d'écarts pouvant dépasser un premier seuil donné, puis le pourcentage de ceux pouvant dépasser un second seuil donné, etc., et ceci pour autant de seuils que souhaité. On pourra en particulier, si besoin est, spécifier un seuil qu'aucun écart ne devra dépasser. La taille et la composition du gabarit d'erreurs sont précisées par contrat.

2.3. Classes de précision pour un modèle standard.

Pour tout échantillon comportant N objets géographiques, on calcule l'écart moyen en position $E_{\text{moy pos}}$. Celui-ci est défini par la moyenne arithmétique des écarts en position E_{pos} relevés sur les points des objets géographiques. On dit que la population dont est issu l'échantillon comportant N objets est de classe de précision [xx] cm lorsque simultanément les trois conditions a/ b/ et c/ sont remplies :

a/ l'écart moyen en position $E_{\text{moy pos}}$ de l'échantillon est inférieur à $[xx] \times (1 + \frac{1}{2 \times C^2})$ cm (C étant le coefficient

de sécurité des mesures de contrôle),
b/ le nombre **N'** d'écarts dépassant le premier seuil $T = k \times \left[\frac{xx}{k} \right] \left(1 + \frac{1}{2 \times C} \right)$ n'excède pas l'entier immédiatement supérieur à $0,01 \times N + 0,232 \times \sqrt{N}$ (où k prend les valeurs indiquées dans la Table 1 en fonction du nombre n de coordonnées caractérisant la position des objets géographiques, et suivant la même loi statistique).

n	1	2	3
k	3,23	2,42	2,11

Table 1 : valeurs du coefficient k en fonction du nombre n de coordonnées caractérisant la position des objets géographiques considérés et suivant la même loi statistique.

Lorsque $N < 5$, aucun écart supérieur à T n'est admis (cf. Table 2).

c/ aucun écart en position dans l'échantillon n'excède le second seuil

article 3. CATÉGORIES DE TRAVAUX TOPOGRAPHIQUES

3.1. Canevas

Les points de canevas sont déterminés par 1, 2 ou 3 coordonnées.

Les écarts observés sur les canevas sont issus de trois origines : les erreurs internes, les erreurs de rattachement et les erreurs propres du réseau légal de référence. Ces erreurs peuvent parfois être individualisées, en particulier lorsque les mesures présentent une surabondance suffisante. On désigne par surabondance d'un canevas, le taux formé par le rapport du nombre de mesures indépendantes observées sur un canevas au nombre minimal de mesures permettant de déterminer celui-ci.

- L'erreur interne s'analyse à partir de l'écart entre les coordonnées obtenues pour chaque point par les mesures de contrôle et celles que l'on obtient par calcul dans un système indépendant en appliquant une translation (et pour 2 ou 3 coordonnées, une rotation), la plus favorable possible, sur l'ensemble

des coordonnées fournies pour ces points. Les éventuels points d'appui inclus dans le canevas figurent avec leurs coordonnées déterminées dans le système indépendant.

- L'erreur propre au réseau légal de référence est spécifiée par son gestionnaire, avec éventuellement plusieurs niveaux possibles en fonction des éléments du réseau effectivement utilisés lors du rattachement. Si la discordance relevée entre les points du réseau légal de référence est plus importante que la précision spécifiée par le gestionnaire, alors la précision est remplacée dans toutes les évaluations ultérieures par la discordance de rattachement effectivement constatée.
- L'erreur de rattachement s'analyse, lorsque cela est possible, à partir des écarts sur les mesures permettant le lien entre le réseau légal de référence et le canevas lui-même. Un rattachement ne peut être considéré comme effectué que si le canevas considéré est rattaché à suffisamment de points du réseau légal de référence pour mettre en évidence d'éventuelles discordances dans ce réseau. En outre, la précision fournie pour le rattachement doit être cohérente avec celle des éléments du réseau légal de référence effectivement utilisés pour celui-ci. Cette erreur de rattachement ne peut pas toujours être individualisée, ce qui est en particulier le cas lorsque les mesures du canevas offrent peu de surabondance.

A partir de ces trois types d'erreurs, on définit les classes de précision totale et de précision interne d'un canevas.

3.1.1. Classe de précision totale

La classe de précision au sens de l'article 2. s'applique aux écarts entre les coordonnées fournies pour chaque point et celles que l'on obtient pour des mesures de contrôle. L'erreur totale résulte de la composition des erreurs internes, des erreurs de rattachement, et de l'erreur propre au réseau légal de référence. Donc l'erreur totale ne peut

être inférieure à l'une de ces trois sources d'erreurs, et en particulier à l'erreur propre du réseau légal de référence, telle qu'elle est spécifiée ou telle qu'elle résulte des discordances relevées lors du rattachement.

3.1.2. Classe de précision interne

La classe de précision au sens de l'article 2. s'applique à l'écart entre les coordonnées obtenues pour chaque point par les mesures de contrôle et celles que l'on obtient par calcul dans un système indépendant en appliquant une translation (et pour 2 ou 3 coordonnées, une rotation), les plus favorables possible, sur l'ensemble des coordonnées fournies pour ces points. Les éventuels points d'appui inclus dans le canevas figurent avec leurs coordonnées déterminées dans le système indépendant.

3.1.3. Critères possibles

Les classes de précision des canevas doivent être spécifiées selon tout ou partie de 4 critères possibles : classe de précision planimétrique totale, classe de précision planimétrique interne, classe de précision altimétrique totale, et classe de précision altimétrique interne, en suivant les définitions en 3.1.1 et 3.1.2 ci-dessus.

3.2. Levers d'objets géographiques

Les classes de précision de levers d'objets géographiques sont relatives aux canevas qui leurs servent de référence, et s'analysent selon 2 critères indépendants : classe de précision planimétrique par rapport au canevas, classe de précision altimétrique par rapport au canevas, selon les critères de l'article 2. Des classes de précision différentes peuvent être spécifiées pour des types d'objets géographiques différents dans un même lever.

3.2.1. Objets géographiques ponctuels

Si les spécifications l'indiquent, certains objets géographiques peuvent être considérés comme ponctuels. Ils sont alors déterminés par les coordonnées planimétriques et au besoin altimétriques de leur point de référence. La classe de précision s'applique à l'écart entre les coordonnées obtenues pour chaque point par une mesure de

N	de 1 à 4	de 5 à 13	de 14 à 44	de 45 à 85	de 86 à 132	de 133 à 184	de 185 à 240	de 241 à 298	de 299 à 359	de 360 à 422	de 423 à 487
N'	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Table 2. Exemples de nombres N' maximaux d'écarts dépassant le premier seuil T acceptés pour un échantillon de N éléments.

■ ■ ■ contrôle et les coordonnées fournies pour ces points ; les éventuels points d'appui et de canevas inclus dans le lever étant exclus des points testés.

3.2.2. Les objets géographiques linéaires, surfaciques et volumiques

Si les spécifications l'indiquent, ces objets sont définis uniquement à partir de lignes et de points, et certains de ces points peuvent ne pas être identifiables. Une surface est définie par un périmètre, un volume est défini par ses arêtes.

Les classes de précision sur les points identifiables sont spécifiées comme celles des objets géographiques ponctuels (article 3.2.1.).

On dénomme points non identifiables ceux qui servent à la détermination d'un objet géographique linéaire, et dont la position le long de cet objet n'est pas précisément identifiée. Sauf spécification contraire figurant au cahier de charges, les classes de précision sur les lignes joignant des points non identifiables s'appliquent à l'écart entre le terrain nominal et les segments de droites joignant ces points. Cet écart est mesuré par la plus petite distance entre le point de contrôle et la ligne levée, chaque point de contrôle étant choisi le plus près possible de l'un des points levés.

3.2.3. Spécifications de contenu

Les objets géographiques faisant l'objet du lever sont rangés par classes en fonction des spécifications de contenu qui précisent aussi les critères de sélection retenus, conformément au terrain nominal. Les spécifications s'appliquent indépendamment aux objets mal classés et aux objets oubliés ou surnuméraires, en spécifiant les gabarits d'erreurs correspondants décrits à l'article 2.2.

3.2.4. Représentation altimétrique du terrain

La représentation altimétrique du terrain utilise des points du terrain nominal définis par des coordonnées altimétriques et planimétriques. Ces points sont reliés par des arêtes destinées à structurer un modèle de surface (maillage régulier, triangulation, courbe de niveau etc.). Les classes de précision s'appliquent à l'écart entre le terrain nominal et la surface levée. Les points

de contrôle sont pris à la verticale des points du modèle de surface.

Le terrain nominal introduit un certain niveau de simplifications et de lissage de la réalité en fonction du pas d'échantillonnage ou de l'espacement des courbes de niveau. Les écarts entre le terrain nominal et le terrain réel doivent rester inférieurs à la classe de précision spécifiée.

Les réseaux des lignes de thalweg, de crêtes et de rupture de pente sont considérés comme des objets géographiques linéaires et font l'objet de spécifications propres. Leurs classes de précision planimétrique et altimétrique suivent les spécifications de l'article 3.2.2.

3.3. Images rectifiées et cartes scannées remises en géométrie

Les spécifications de précision applicables aux images rectifiées et aux documents cartographiques scannés et remis en géométrie s'analysent selon 5 paramètres (article 3.3.1 à 3.3.5. ci-après), un au moins parmi les deux premiers étant obligatoire et les trois derniers étant facultatifs :

3.3.1. Classe de précision interne

La classe de précision au sens de l'article 2. s'applique à l'écart entre les coordonnées obtenues par les mesures de contrôle, pour des détails bien identifiés, calculées dans un système indépendant, et celles que l'on obtient par calcul en appliquant une rotation et une translation, les plus favorables possibles, sur l'ensemble des coordonnées de ces points obtenues dans l'image ou le document, également dans un système indépendant. Le système de coordonnées planes de contrôle sera caractérisé par le même système de représentation plane que celui des coordonnées des points évalués. La classe de précision ne peut être meilleure que la taille du pixel utilisé.

3.3.2. Classe de précision totale

La classe de précision au sens de l'article 2. s'applique à l'écart entre les coordonnées obtenues par les mesures de contrôle, pour des détails bien identifiés, et celles des coordonnées de ces points obtenues dans l'image ou le document. Le système de coordonnées planes de contrôle sera caractérisé par le même système de représentation plane que

celui des coordonnées des points évalués. La classe de précision ne peut être meilleure que la taille du pixel utilisé.

3.3.3. Redressement des objets géographiques du sur-sol

La spécification doit préciser si les erreurs internes décrites au 3.3.1. s'appliquent uniquement aux objets géographiques au sol, ou également aux objets du sur-sol.

3.3.4. Qualité radiométrique du mosaïquage

S'il y a effectivement eu un mosaïquage, la classe de précision sera exprimée par la différence de valeur radiométrique par canal tolérée sur les raccords entre images ne correspondant pas à un linéament, divisée par la radiométrie maximale de l'image, et exprimée sous forme de pourcentage.

3.3.5. Qualité géométrique du mosaïquage

La classe de précision s'applique, conformément aux éléments définis à l'article 2., et s'il y a effectivement eu un mosaïquage, aux distances entre les points en bordure d'une des images assemblées au sein du document final et les mêmes points tels qu'ils seraient représentés dans l'image voisine si elle était prolongée jusque là, les points étant caractérisés par des coordonnées sous forme de pixels. Ces distances sont mesurées sur des points n'offrant aucune ambiguïté d'identification sur les deux images voisines concourant au document final.

article 4

L'arrêté interministériel du 20 mai 1948, fixant les conditions d'exécution et de publication des levés de plans entrepris par les services publics, l'arrêté du 21 janvier 1980, fixant les tolérances applicables aux levés à grande échelle entrepris par les services publics, et l'instruction du 28 janvier 1980, relative à l'application de l'arrêté du 21 janvier 1980 fixant les tolérances applicables aux levés à grande échelle entrepris par les services publics, sont abrogés.

Fait à Paris le

<ministre chargé de l'équipement> ●

La gestion du réseau de télécommunications de Fibres Optiques Défense

■ Richard LEROY

En 2002, Fibres Optiques Défense, concessionnaire de 150 km de câbles optiques cheminant dans les sous-sols du Quartier d'Affaires de La Défense, décide de s'équiper du logiciel de gestion et de maintenance de réseaux de télécommunications sur base SIG développé par Générale d'Infographie : NetGeo.

Ce système, devenu indispensable dans la gestion quotidienne des infrastructures de Fibres Optiques Défense, en particulier pour les cotations de liaisons, a été essentiel lors de l'incendie d'un camion dans les sous-sols de La Défense. L'incident, qui a provoqué la rupture de plusieurs câbles optiques, a pu être maîtrisé grâce au SIG, qui a permis de déterminer, de façon instantanée, les clients touchés et de préparer et d'optimiser l'intervention de réparation. Ce n'est donc pas un hasard si Marc MINIUSSI, Directeur de Fibres Optiques Défense avoue lui-même "ne plus pouvoir s'en passer"...

En 2002, l'incendie d'un camion dans les sous-sols du quartier d'affaires de La Défense (92) provoque la rupture de plusieurs câbles du réseau de fibres optiques qui dessert les immeubles de bureaux. A l'ère du tout communiquant, il est facile d'imaginer les conséquences pour les entreprises raccordées... Heureusement, Fibres Optiques Défense, le concessionnaire du réseau, et Graniou Multimedia, son entreprise de maintenance, disposent de NetGeo, un système centralisé de gestion sur base SIG qui leur permet d'identifier, de localiser et de prévenir les clients concernés en un temps record et d'organiser immédiatement les travaux de réparation. Mais revenons quelques années en arrière... C'est en 1995 que l'EPAD (Établissement Public pour l'Aménagement de la Défense) lance un appel d'offres

international en vue de choisir un concessionnaire chargé de fournir le service de connectivité optique du quartier d'affaires. Le marché est remporté en 1996 par le groupe Générale des Eaux/Unisource, aujourd'hui Vivendi Universal/Cegetel. Le groupement crée une société en nom collectif, pour gérer la concession qui devient en 2000 une Convention d'Occupation Temporaire du Domaine Public. Depuis, Fibres Optiques Défense loue ses supports d'infrastructures (chemins de câbles...) ou ses fibres noires (non activées) aux opérateurs de télécommunications et aux prestataires de réseaux privés, avec deux engagements forts :

- délivrer un service de haute qualité, sécurisé et très réactif,
- proposer ce service à tous ses clients de façon neutre, transparente et non-discriminatoire, c'est à dire aux

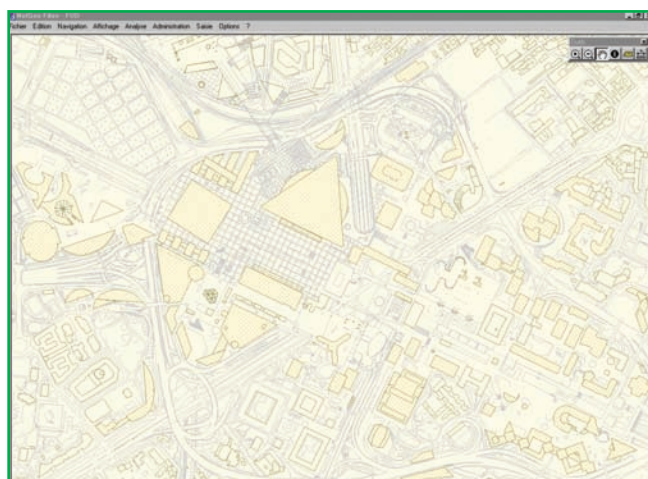
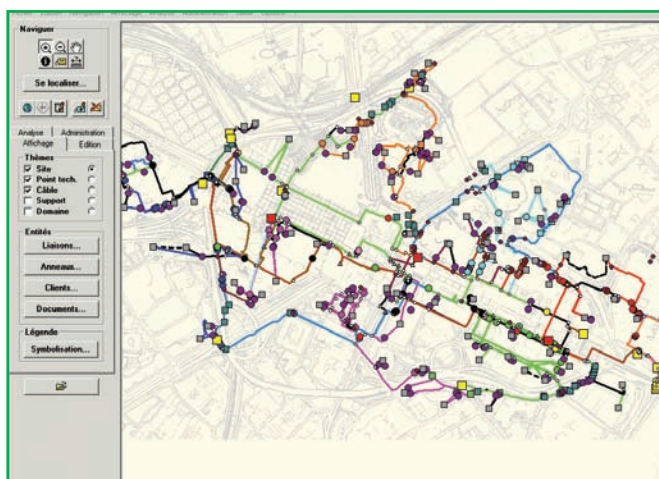
mêmes conditions générales et aux mêmes tarifs.

Fibres Optiques Défense a confié les travaux de déploiement et de maintenance de son réseau à Graniou Multimédia (groupe Vinci Énergies). Afin d'assurer efficacement leurs missions respectives, les deux sociétés ont choisi de se doter d'un système d'information centralisé basé sur NetGeo.

Développé par Générale d'Infographie, spécialiste des solutions métiers à composante cartographique, ce SIG métier fournit dans un même environnement logiciel l'accès à l'ensemble des informations disponibles sur le réseau de Fibres Optiques Défense et les replace dans leur environnement géographique. Quatre types de vision de l'infrastructure sont ainsi possibles : géographique, avec le positionnement des élé-

■ MOTS CLES

fibre optique, câble, La Défense, télécommunications, réseau, infrastructure, gestion, maintenance, SIG, Fibres Optiques Défense, FOD, Graniou, NetGeo.



■ ■ ■ ments techniques sur un fond de plan (illustré par la vue ci-dessous) ; alphanumérique, pour accéder aux informations descriptives des éléments du réseau ; documentaire, grâce à l'association de documents (photos, plans, courbes de réflectométrie...) aux éléments du réseau ; technique, enfin, avec des fonctions très avancées de gestion de la connectique, du câblage et du brassage, d'affectation des disponibilités ou des ressources et de vision topologique du réseau.

Le projet s'est monté très rapidement, en moins d'un an et deux grandes étapes de six mois et deux opérateurs chacune : d'abord la saisie en base de données de toutes les informations optiques, c'est-à-dire liées aux fibres et aux équipements du réseau, puis la saisie des infrastructures. Pour assurer la tenue des délais, celle-ci a même nécessité deux mois de travail en 2x8.

Côté données cartographiques, un plan de la Défense a été fourni par l'EPAD au format DWG puis recalé en Lambert II. Les infrastructures et les câbles ont été tracés sur la base de plans DWG tandis que la saisie des données optiques s'est faite à partir de plans de câblage sous Excel.

Une fois opérationnel, le système, très complet, est devenu indispensable pour maîtriser au quotidien le cycle de vie des infrastructures :

Ainsi, en phase d'ingénierie, la visibilité immédiate de la disponibilité, du câblage et du brassage dans les boîtes permet de concevoir rapidement les nouvelles extensions du réseau ou le raccordement d'un nouveau site client.

En exploitation, ce sont les fonctions d'allocations de ressources (vérification des disponibilités et affectation d'une liaison à un client) et de vision topologique du réseau (visualisation d'une route optique et des éléments techniques parcourus) qui fournissent une réponse instantanée aux demandes des clients en terme de possibilité de raccordement et de tarifs de location.

En phase de maintenance et supervision, enfin, la parfaite connaissance de la configuration des éléments sur le terrain garantit la localisation précise des incidents et l'optimisation des interventions. Comme lorsqu'un camion brûle en sous-sol...

Marc Miniussi, directeur de Fibres Optiques Défense, avoue qu'il "ne pourrait plus se passer de son système d'information" dans son travail quotidien. Il suffit d'entrevoir l'ampleur et la criticité du réseau pour s'en persuader : 3 locaux techniques de raccordement, 80 locaux techniques d'immeubles, 27 km de chemins de câbles, 150 km de câbles optiques, 18 000 connecteurs, 58 000 épissures... ●

NetGeo est une marque déposée de Générale d'Infographie

Pour plus d'informations :

Richard Leroy
Responsable d'Affaires Télécoms
Générale d'Infographie
ZA Les Erables - Bâtiment 4
66 route de Sartrouville F-78230 LE PECQ
Tél : (33) (0)1.30 15 40 50
Fax : (33) (0)1.30 15 40 60
E-mail : rleroy@gi-paris.com
<http://www.generale-infographie.fr/>

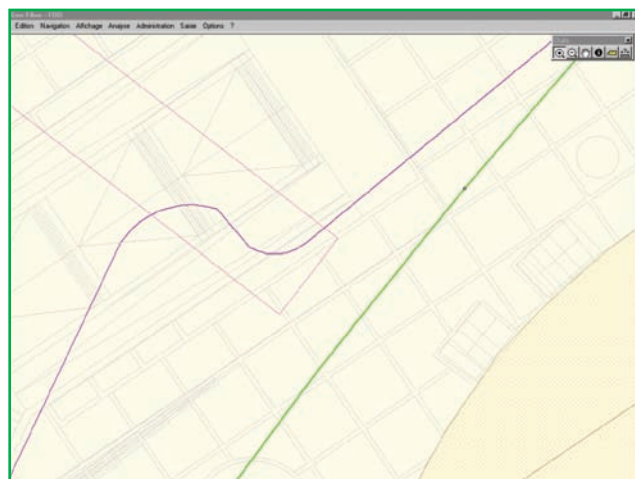
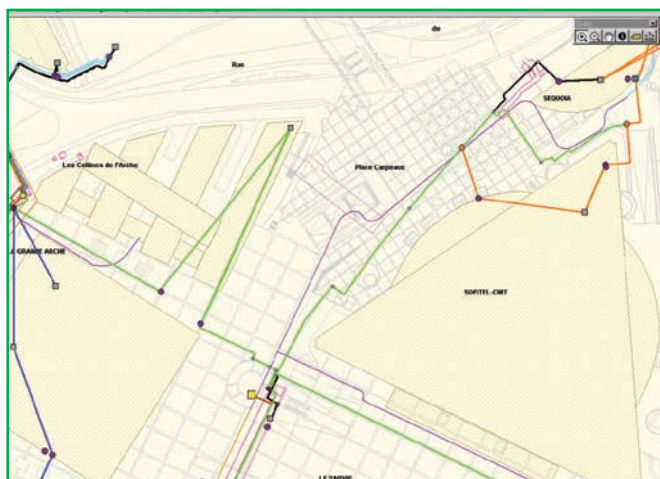
ABSTRACT

Key words: optic fiber, cable, La Défense, telecommunications, network, infrastructure, maintenance, GIS, Fibres Optiques Défense, FOD, Graniou, NetGeo

In 2002, Fibres Optiques Défense, dealer of 150 km of fiber optic cables running through the basements of the Business District of La Défense, decided to equip with the telecommunications networks management and maintenance GIS based software developed by Générale d'Infographie : NetGeo. This system, become necessary in the daily management of Fibre Optique Défense infrastructures, especially for links quotations, showed essential during the fire of a truck in the basements of La Défense.

The incident, which cause the break of several fiber optic cables, could be controled thanks to the GIS, which allowed to instantly determine the impacted clients and prepare and optimize the repair intervention.

This is thus no coincidence if Marc MINIUSSI, Fibres Optiques Défense Manager, confesses himself that he "could not do without it" ...



Délimitations maritimes et extension du plateau continental

■ Frédéric BIZET et Jean-Sylvain PONROY

L'entrée en vigueur de la Convention des Nations Unies sur le Droit de la Mer le 18 novembre 1994 qui régit les espaces maritimes des Etats côtiers ainsi que les rapports entre ceux-ci n'est pas sans poser de problèmes. Elle a poussé les juristes à solliciter l'intervention d'équipes pluridisciplinaires. En effet, l'existence de vastes zones maritimes pouvant s'étendre à plus de 350 M requiert des compétences en géodésie. La détermination du pied du talus continental fait intervenir des domaines bien connus des sociétés de prospection pétrolière : la bathymétrie et la sismique. Enfin l'importante diversité des données à traiter nécessite l'emploi de SIG bien adaptés.

La Convention des Nations Unies sur le Droit de la Mer a été conclue à Montego Bay (Jamaïque) le 11 décembre 1982. Entrée en vigueur le 18 novembre 1994, elle consacre l'adoption par la communauté internationale d'un droit international normatif pour la gestion des espaces maritimes vers le large et l'application de la souveraineté des États. Ces espaces sont définis par des distances allant de 12 à plus de 350 milles marins de la "côte" définie par des "lignes de base droites" ou des "lignes de base normales". A ce jour, 143 États (dont la France) ont ratifié la Convention. Parmi les États non-signataires, se trouvent des pays comme le Canada, le Danemark, l'Iran, le Maroc, la Turquie, les États-Unis et le Venezuela, pays dont l'importance maritime est considérable soit par l'étendue de leurs espaces maritimes soit par leur position stratégique. Certains de ces pays, comme les États Unis, devraient la ratifier prochainement (1). "La bataille engagée sur les espaces marins se déroule dans un domaine où les intérêts militaires, politiques et surtout économiques jouent un rôle essentiel" (2).

Lorsque les prétentions pour les zones maritimes sous souveraineté ou juridiction nationale d'États adjacents ou se faisant face sont susceptibles de se chevaucher, il devient nécessaire de définir des limites. On parle dans ce cas de délimitation maritime, le terme de frontière étant réservé aux délimitations terrestres. Ces délimitations maritimes sont le fruit de négociations, d'arbitrage ou de décisions d'une juridiction compétente choisie par les États (3).

Les sources de différends étant fréquentes et souvent d'origines économiques, la constitution d'équipes pluridisciplinaires composées de juristes, d'économistes et de scientifiques est indispensable pour traiter ces questions. Pour éviter tout litige ultérieur, les limites des zones et délimitations maritimes doivent être parfaitement définies et l'intervention de professionnels de la géodésie et de la cartographie est primordiale.

Sur l'initiative de l'Institut du Droit Économique de la MER (4) (INDEMER), un colloque international s'est déroulé à Monaco

en mars 2003. Il a permis de nombreux échanges entre les juristes et les scientifiques rassemblés à cette occasion. Les minutes de ce colloque seront diffusées à la fin de l'année.

Cet article a pour vocation d'introduire sommairement les processus de délimitation maritime et les problèmes qui en découlent, puis de présenter l'intérêt du module de fonctionnalités géodésiques dédiées, OffSIS, développé sur le logiciel S.I.S® (Spatial Information System), un SIG particulièrement adapté à l'exploitation de données dans toutes les projections du monde.

MOTS CLES

Délimitation maritime, ligne d'équidistance, diagrammes de Voronoï, géodésie, système d'information géographique, Plateau Continental, Droit de la Mer

Les espaces maritimes définis par la convention

Les espaces et délimitations maritimes sont décrits dans la Convention (5) (fig. 1). Toutes les distances sont données en milles marins. Le mille marin international vaut exactement 1 852 mètres et est représenté officiellement par la lettre majuscule "M" dans toutes les langues. (Organisation Hydrographique Internationale 1990).

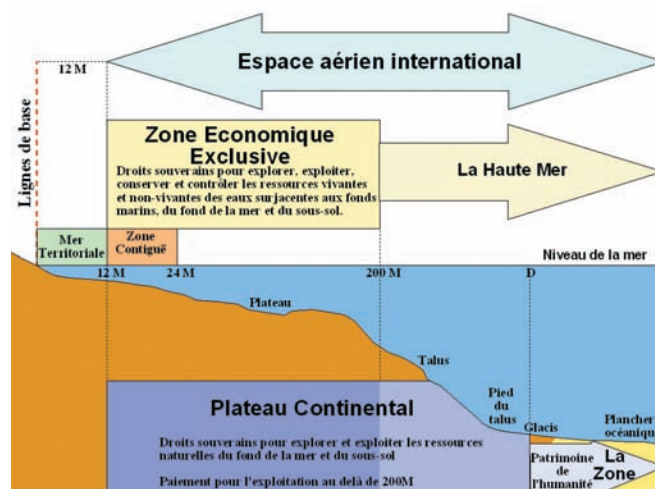


fig.1 Les espaces maritimes de la Convention

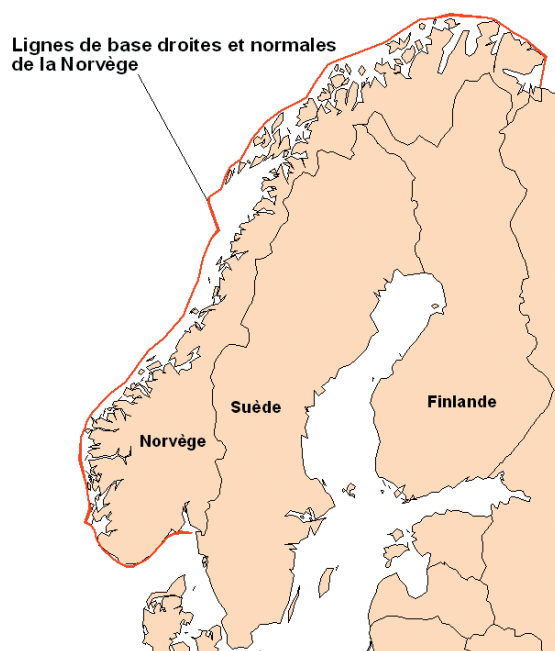


fig.2 Lignes de base établies par la Norvège

■ Les lignes de base :

Elles sont la clef de voûte de toute opération de délimitation car c'est à partir de ces lignes que sera mesurée la largeur des espaces maritimes. Les lignes de base sont de deux types (normales ou droites) et sont fixées par l'État côtier en fonction des directives de la Convention.

Les lignes de base normales sont décrites par la Convention comme *"la laisse de basse mer le long de la côte, telle qu'elle est indiquée sur les cartes marines à grande échelle reconnues officiellement par l'État côtier"*. La laisse de basse mer correspond au zéro hydrographique des cartes marines où elle apparaît comme l'isobathe zéro. Le Bureau Hydrographique International recommande de retenir pour définir le zéro hydrographique la plus basse mer astronomique qui est aisément calculable ; la France a adopté cette référence. Mais la pratique des États est bien différente : niveau moyen des basses mers de vive-eau, niveau moyen des basses mers, éventuellement niveau purement conventionnel. Ceci a une incidence importante dans les délimitations maritimes entre États.

Les lignes de base droites constituent, quant à elles, une simplification du trait de côte et offrent l'avantage de pouvoir englober les îles ou chapelets d'îles proches de la côte, de fermer des baies, des estuaires, etc. La Convention a codifié les règles à respecter pour leur établissement. Les lignes de base de la Norvège en sont un bon exemple (fig. 2).

Les services géographiques et hydrographiques nationaux, lorsqu'ils existent ou les prestataires de services ont ici un premier rôle à jouer pour conseiller l'État et lui fournir le maximum d'informations géographiques concernant le littoral et les fonds marins.

■ Les zones maritimes :

Il en existe six sortes (6), ces espaces maritimes sont optionnels, ce qui signifie qu'un État peut ne pas les revendiquer, ou n'en revendiquer qu'une partie :

- Les eaux intérieures, il s'agit de la mer se situant entre les lignes de base et la laisse de basse mer. L'État y exerce une souveraineté exclusive.
- La mer territoriale est une zone de mer ne pouvant excéder 12 milles marins comptés à partir des lignes de base. L'État y exerce une souveraineté exclusive avec quelques réserves comme le droit de passage inoffensif.
- La zone contiguë ne va pas au-delà de 24 M à partir des lignes de base. L'État côtier y est investi de certains pouvoirs de police pour les infractions à ses lois (douanières, fiscales, sanitaires ou d'immigration).
- La Zone Économique Exclusive (Z.E.E) : elle s'étend jusqu'à 200 M des lignes de base, sauf chevauchement avec les prétentions d'un autre État (une délimitation maritime est alors nécessaire). L'État côtier y exerce des droits souverains exclusifs pour l'exploration et l'exploitation des ressources naturelles vivantes et non vivantes dans la colonne d'eau, sur le sol et le sous-sol (35 % des eaux maritimes, de leurs fonds et de leur sous-sol passent ainsi sous le contrôle des États). Les États tiers y conservent la liberté de navigation, d'exercices ou opérations militaires, de pose de câbles et pipelines. On peut éventuellement signaler qu'il existe des formes "atténuées" de la ZEE : certains États ne revendiquent que les droits relatifs aux ressources halieutiques ("zones de pêche"), d'autres que les droits relatifs à la protection de l'environnement ("zone de protection écologique" créée par la France en 2003).
- Le Plateau Continental au-delà de 200 M (17 millions de km²) que les États peuvent revendiquer sous réserve de règles complexes. L'État côtier y exerce des droits souverains pour l'exploration et l'exploitation du sol et du sous-sol. Les États tiers y conservent la liberté de navigation, d'exercices ou opérations militaires, de pose de câbles et pipelines.
- La Zone : patrimoine de l'humanité géré par l'Autorité Internationale des Fonds Marins (7) (partie XI de la Convention). Elle est constituée des mers et océans (sol et sous-sol) ne répondant pas aux caractéristiques des zones précédentes.

L'application de la Convention (réglementations à propos de la ZEE, du plateau continental...) n'est pas sans problèmes et n'est pas forcément synonyme d'une plus grande justice, les pays sans littoral critiquant cette appropriation de vastes territoires marins par les États côtiers.

Revenons aux problèmes de géodésie. La ZEE et le plateau continental étendu se développent sur de grandes distances pouvant aller au-delà de 350 M, soit environ 650 km : Ceci ne permet plus la mesure de distance sur une carte papier, les écarts avec la réalité seraient trop importants, d'autant plus que les cartes marines sont en projection Mercator qui ne conserve pas les distances. Le calcul précis de telles distances nécessite l'emploi de la ligne géodésique. A 350 M, même les écarts entre la distance calculée sur l'ellipsoïde et celle calculée sur une sphère d'approximation peuvent être de plusieurs kilomètres selon le rayon choisi pour la sphère. Là encore, la compétence des géodésiens est indispensable.

En plus de celle des distances, se pose la question des surfaces, surtout si l'on veut des partages équitables... Là aussi, question intéressante de géodésie.

■ Délimitation entre États adjacents ou se faisant face :

Une délimitation maritime est nécessaire lorsque les zones de prétention maritime de deux États se chevauchent. Cette limite maritime séparative est nécessaire si deux États se font face ou s'ils sont adjacents. Dans ce dernier cas la limite débute d'un point frontière défini en commun par les Parties et peut s'étendre jusqu'à l'extrémité du plateau continental tel qu'il est défini par l'article 76 de la Convention.

Le point de départ des négociations pour le choix d'une délimitation d'une frontière maritime est souvent la ligne d'équidistance ou ligne médiane, telle qu'elle est décrite à l'article 15 de la Convention et "dont tous les points sont équidistants des points les plus proches des lignes de base à partir desquelles est mesurée la largeur de la mer territoriale de chacun des deux États".

Le droit de la mer vise notamment à déterminer des limites respectant des critères d'équité, ainsi une délimitation maritime sera fortement influencée par des critères géographiques, économiques, politiques, historiques et légaux :

- Influences géographiques et géomorphologiques : présence d'îles, de caps, de baies, forme du plateau continental, épaisseur des sédiments marins, proportion de hauts fonds (qui sont les zones où se concentrent les richesses halieutiques, et où les ressources du sol et du sous-sol sont les plus faciles à exploiter)...
- Facteurs économiques : ressources halieutiques, biologiques (biodiversité), ressources pétrolières, revenus touristiques (pêche sportive, navigation de plaisance, etc.)...
- Facteurs écologiques : protection de la biodiversité, de la pollution, qualité du milieu...
- Conditions politiques : arrangements entre État, climat politique...
- Facteurs géopolitiques : représentation d'un État dans les instances régionales maritimes, reconnaissance indirecte de la souveraineté d'un État sur des îles...
- Facteurs historiques : pratiques coutumières (notamment en matière de pêche)...
- Aspects légaux : jurisprudence faisant apparaître des notions de proportionnalité de longueurs de côtes entre les États, problème d'enclavement de certains États...
- Influences possibles futures : nouvelles sources d'exploitation d'énergie (hydrates de gaz), utilisation de la force marémotrice, de la houle, de l'énergie thermique des océans, de l'énergie éolienne...

Du fait de traditions juridiques anciennes, souvent dérivées du droit terrestre, mais aussi parce que les richesses des océans autres que les richesses halieutiques ne sont connues ou exploitables que depuis quelques dizaines d'années, nombre de ces aspects ne sont pas pris en compte à l'heure actuelle dans les jugements alors qu'ils jouent un rôle important dans la définition de l'équité (pérennité de la limite). Un paramètre tel que la comparaison des longueurs de côtes est souvent utilisé, bien qu'il soit calculé sur des critères qui semblent très subjectifs (ne serait-ce que parce que ces longueurs varient en fonction de l'échelle de la carte utilisée...). Si les facteurs retenus pour définir une limite sont bien choisis, la délimitation maritime aura peu de chance d'être contestée dans le futur, d'où l'importance de l'évaluation des ressources potentielles.

La jurisprudence expose de nombreuses manières de définir une délimitation maritime. On notera tout de même l'importance des lignes d'équidistance et des lignes d'équidistance simplifiées (il s'agit d'une ligne médiane dont on ne conserve que certains points) qui constituent environ 80 % des délimitations maritimes entre États et servent de base de travail dans la plupart des cas, avant prise en compte des autres facteurs qui peuvent modifier cette base (facteurs économiques, bathymorphologiques, etc.).

La plupart des délimitations maritimes ont été décidées avant l'apparition des technologies modernes (et souvent par des juristes plus que par des géodésiens). Les coordonnées sont fournies à la seconde près (ce qui n'a pas forcément d'importance, s'agissant de limites conventionnelles) mais généralement sans aucune référence à un système géodésique et les cartes jointes à l'accord sont souvent des cartes illustratives au 1/1 000 000.

La précision actuellement requise dans l'industrie offshore est inférieure au mètre et les querelles sont nombreuses lorsque la ressource naturelle est à cheval sur les lignes de délimitations. De nombreux États sont donc obligés de préciser leurs délimitations, si possible par la négociation. L'utilisation systématique des SIG et d'outils permettant de visualiser les résultats de calculs géodésiques est devenue indispensable pour les décideurs, juristes et gens de mer.

Dans cet article nous illustrerons l'élaboration d'une délimitation maritime par la ligne d'équidistance qui possède l'avantage de pouvoir se calculer de manière automatique en s'appuyant sur un outil géométrique très pratique et bien adapté à la délimitation maritime : le diagramme de Voronoï.

Extension du plateau continental

■ La définition juridique du plateau continental

L'article 76 de la partie VI de la Convention définit le Plateau Continental (fig. 3) :

"Le plateau continental d'un État côtier comprend les fonds marins et leur sous-sol au-delà de sa mer territoriale, sur toute l'étendue du prolongement naturel du territoire terrestre de cet État jusqu'au rebord externe de la marge continentale, ou jusqu'à 200 milles marins des lignes de base à partir desquelles est mesurée la largeur de la mer territoriale, lorsque le rebord externe de la marge continentale se trouve à une distance inférieure..."

Les États qui souhaitent revendiquer un Plateau Continental au-delà des 200 M doivent cependant déposer un dossier ■■■

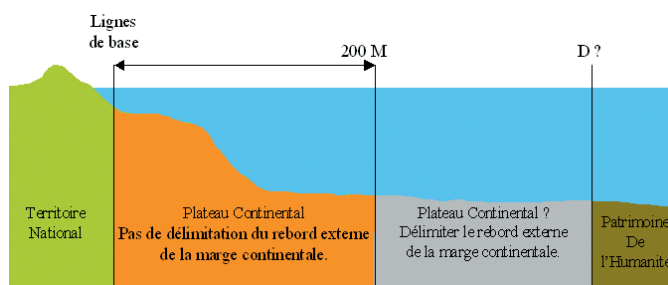


fig.3 Le Plateau Continental

- ■ ■ scientifiquement argumenté auprès d'une commission spécialisée dépendant de l'ONU : La Commission des Limites du Plateau Continental ("La Commission" abordée en Annexe II de la Convention). La Commission est composée de 21 experts scientifiques élus pour une durée de cinq ans.

■ La délimitation du plateau continental en-deçà des 200 M

La délimitation ne fait appel qu'au seul critère de distance auquel se rajoute éventuellement une problématique de délimitation avec des États voisins. Dans ce cas, les États ne sont pas tenus de déposer un dossier. Notons que la Convention ne précise pas la nature de la distance de 200 milles : s'agit-il d'une distance géodésique, d'une loxodromie ou d'une distance projetée ? Il convient de calculer les distances sur l'ellipsoïde, non ambiguës, et de ne pas utiliser des distances en projection.

■ La délimitation du plateau continental au-delà des 200 M

Un État souhaitant revendiquer une extension de son plateau continental se doit d'apporter la preuve à la Commission que le prolongement naturel de sa masse terrestre (la marge continentale (8)) va au-delà des 200 M. L'article 76 en donne la définition suivante :

"La marge continentale est le prolongement immergé de la masse terrestre de l'État côtier ; elle est constituée par les fonds marins correspondant au plateau, au talus et au glacis ainsi que leur sous-sol. Elle ne comprend ni les grands fonds des océans, avec leurs dorsales océaniques, ni leur sous-sol"

Le plateau continental, au sens juridique du terme, peut être étendu au-delà de 200 M

- Soit à 60 M du pied du talus
- Soit à un point où l'épaisseur des roches sédimentaires est égale à 1 % de la distance du pied du talus.

Lorsque l'un des deux premiers points au moins est vérifié, l'extension est limitée à :

- Soit 350 M des lignes de bases
- Soit 100 M de l'isobathe 2 500 mètres.

Une règle de construction unique permet de tracer les différentes limites.

Ces règles générales comportent deux exceptions :

- les dorsales sous-marines, termes non définis scientifiquement et juridiquement,
- La clause dite "du Bengale" définie spécialement pour le golfe du Bengale.

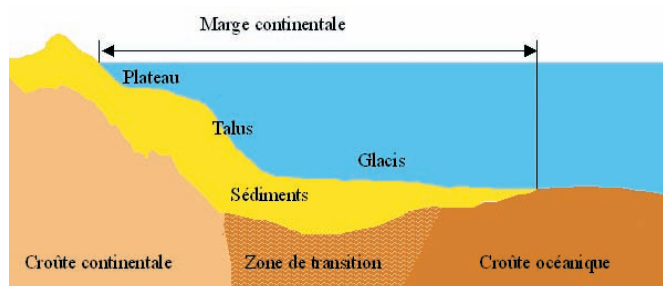


fig.4 Délimitation du plateau au-delà des 200 M

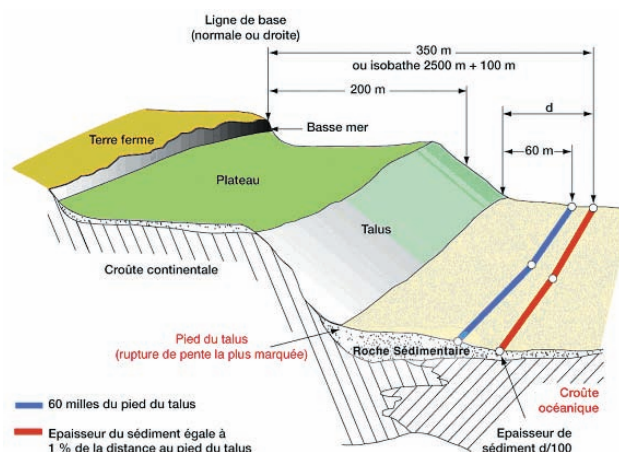


fig.5 Règle d'extension du Plateau Continental (Avec l'aimable autorisation du Bureau Hydrographique International)

La Commission a publié le 13 mai 1999 des directives scientifiques et techniques qui donnent l'interprétation officielle de ce texte juridique (9). Une quarantaine de pays, dont la France ont la possibilité de revendiquer un plateau continental au-delà des 200 M. La Fédération de Russie a déposé son dossier le 21 décembre 2001.

■ L'acquisition des données nécessaires à une soumission

L'acquisition des données est un véritable challenge scientifique et technique pour de nombreux pays :

- La localisation du pied du talus, situé entre 4000 et 5000 mètres de profondeur, est indispensable pour appliquer les deux premières règles. "Sauf preuve du contraire, le pied du talus continental coïncide avec la rupture de pente la plus marquée à la base du talus". La preuve du contraire peut être apporté en faisant référence à la tectonique des plaques et à une connaissance approfondie de la géomorphologie et de la géologie de la zone considérée. La recherche de la rupture de pente la plus marquée demande des levés bathymétriques à l'aide de sondeurs mono ou multi-faisceaux grande profondeur.
- La mesure de l'épaisseur sédimentaire demande des levés de sismique-réflexion ou réfraction.
- La localisation de l'isobathe 2 500 mètres, ligne reliant les points de 2 500 mètres de profondeur, se fait par mesures bathymétriques ou est extrapolée à partir des mesures de réflexion sismique.
- Pour les distances, la Commission exige des distances géodésiques.

La Convention prévoit que "L'État côtier fixe la limite extérieure de son plateau continental, quand ce plateau s'étend au-delà de 200 milles marins des lignes de base à partir desquelles est mesurée la largeur de la mer territoriale, en reliant par des droites d'une longueur n'excédant pas 60 milles marins des points fixes définis par des coordonnées en longitude et en latitude." La nature des lignes n'étant pas précisée, l'État devra choisir entre loxodromie, orthodromie ou toute autre définition géodésiquement acceptable.

Établissement des limites

S.I.S® et le module OffSIS : Le logiciel permet de superposer à la volée des données définies dans les différents systèmes géodésiques du monde, en coordonnées projetées comme en coordonnées géographiques. Les outils développés permettent d'exploiter ces données pour calculer et tracer les limites maritimes dans un référentiel choisi, les calculs étant réalisés sur l'ellipsoïde associé à ce référentiel.

Tracé et mesures des orthodromies et loxodromies : Lors des processus de délimitation maritime la carte marine en projection Mercator est très fréquemment employée. Or si cette projection est bien adaptée à la navigation (la loxodromie ou route à cap constant est représentée par une droite), la variation d'échelle en fonction de la latitude complique la mesure des distances.

Les outils du module permettent de s'affranchir de ces problèmes et notamment de mesurer et de tracer des loxodromies et des orthodromies dans le système géodésique de son choix, indépendamment de la projection employée pour la visualisation des données.

Tracer des limites maritimes : Les contours des surfaces maritimes sont constitués de points obtenus par le calcul de points rayonnés (formules directes de la ligne géodésique) à partir des lignes de base. Le module détermine également les points pertinents des lignes de base en fonction de la dimension de la zone. On appelle "points pertinents" les points ayant une influence sur la forme de la zone, le nombre de points pertinents diminue avec l'étendue de la zone. Les points pertinents d'une zone de 200 M sont un sous-ensemble des points nécessaires à la définition d'une zone de 12 M.

Ligne d'équidistance et diagrammes de Voronoï (10) : Le diagramme de Voronoï est une construction géométrique bâtie à partir de sites ou lieux géométriques (points, segments...) de manière à créer des cellules dans lesquelles tous les points seront plus proches du site de la cellule que des autres sites. En fait, un diagramme de Voronoï d'un ensemble d'éléments est une partition du plan (si l'on travaille dans le plan) composée de :

- **Cellules :** régions dans lesquelles tous les points sont plus proches d'un site que de tous les autres
- **Côtés :** lignes sur lesquelles les points sont équidistants de deux sites exactement



fig.6 Tracé des zones maritimes de la Convention

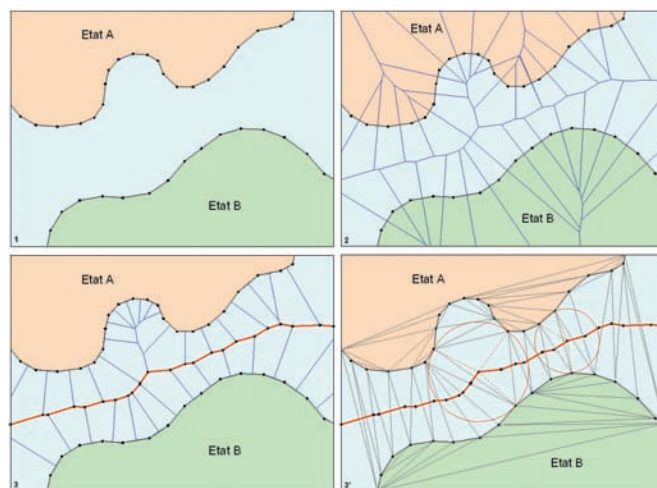


fig.7

- 1 - Etat initial
- 2 - Diagramme de Voronoï des points des lignes de base
- 3 - Superposition de la ligne d'équidistance (en rouge) et du diagramme de Voronoï
- 3' - Autre méthode : création de la ligne d'équidistance à partir de la Triangulation de Delaunay

- **Sommets :** lieux ponctuels équidistants d'au moins trois sites

Une des propriétés des diagrammes de Voronoï est d'être une fonction duale de la triangulation de Delaunay, par le fait que les sommets du diagramme de Voronoï correspondent aux centres des cercles circonscrits aux triangles de Delaunay. Si le diagramme de Voronoï est construit à partir des points des lignes de base d'États adjacents ou se faisant face, et si l'on suit certains côtés du diagramme, alors on se trouvera continuellement à égale distance des deux points les plus proches appartenant chacun au littoral des pays, et on obtiendra, par définition, la ligne d'équidistance définie dans la Convention (fig. 7).

En réalité, la stricte ligne d'équidistance s'appuierait sur la construction d'un diagramme de Voronoï qui tiendrait compte de l'influence des segments reliant les points entre eux. Cette ligne serait constituée d'une succession de segments et de coniques (fig. 8). Dans le plan, le côté d'un diagramme de Voronoï entre un point et un segment est une conique, mais sa définition sur l'ellipsoïde pose problème, c'est pourquoi on réalise les calculs uniquement sur les points des lignes de

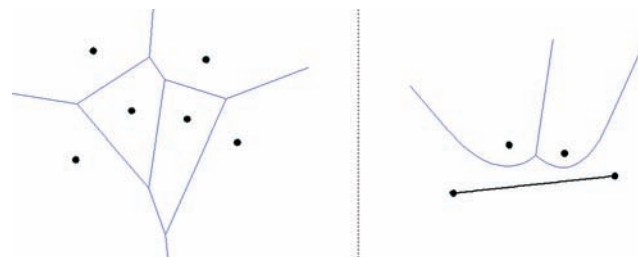


fig.8 Diagramme de Voronoï établi uniquement sur des points (à gauche) et en tenant compte des segments avec l'apparition des coniques (à droite).

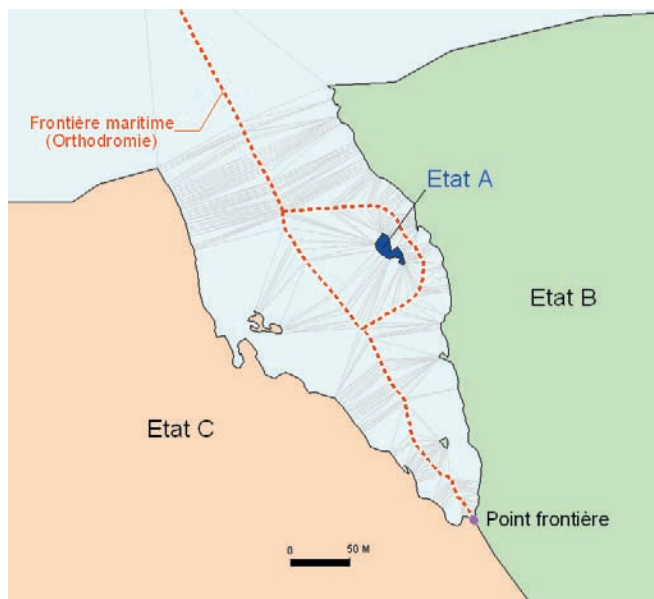


fig.9 Ligne d'équidistance entre plusieurs États (cas fictif)

base des pays, en densifiant intelligemment, si besoin est, les points des lignes de base. Dans ce cas, il suffit de se limiter à la détermination des sommets du diagramme puis de spécifier ensuite par quel type de ligne ces points seront reliés (orthodromie, loxodromie, droite en projection...). Ceci revient à réaliser une triangulation de Delaunay des points des lignes de base, puis à ne conserver que les centres des cercles circonscrits aux triangles s'appuyant sur des points appartenant à des États différents. Pour calculer les points de tri-jonction (ou "tri-points") de la ligne d'équidistance qui équivalent aux sommets du diagramme de Voronoï, le module réalise une triangulation de Delaunay "géodésique" en tenant compte des mesures faites sur l'ellipsoïde. Le module affiche les traits de construction, ce qui permet de visualiser les points pertinents de chaque côte qui ont servi au calcul des tri-points (fig. 9). Ceci offre l'avantage, dans le cadre d'une pré-étude de cerner les zones géographiques où il serait important de disposer de données à un niveau de précision suffisant.

Problème des côtes convexes : Lorsque deux pays adjacents présentent des côtes dont la configuration est de forme convexe, il n'existe pas de ligne d'équidistance mais plutôt ce que l'on pourrait appeler une "zone d'équidistance" dans laquelle tous les points sont plus proches du point frontière appartenant aux deux États que d'une des deux côtes (fig. 10). Les diagrammes de Voronoï nous permettent de délimiter cette zone mais ils ne nous fournissent pas une frontière unique et non-équivoque. Il n'existe pas encore de solutions fiables et officielle pour résoudre ce problème.

Modélisation du plateau continental

xGrid est un module développé par Geomod sur S.I.S® offrant la possibilité de construire, manipuler, et exploiter des jeux de données matricielles géoréférencées. Ce module est particulièrement destiné aux traitements de MNT : calcul de courbes niveaux et de profils, comparaison et combinaison de MNT, application de filtres (lissage de modèle, détermination des crêtes, thalwegs, rupture de pentes...).

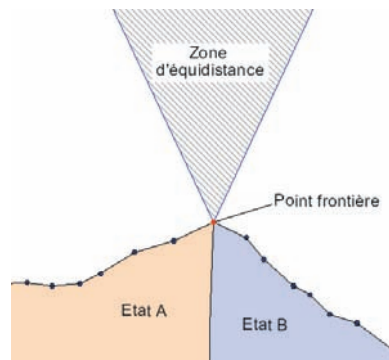


fig.10 Zone d'équidistance de côtes adjacentes convexes

Ces fonctionnalités trouvent tout leur intérêt dans les délimitations maritimes pour modéliser en trois dimensions le plateau continental (et plus généralement le fond de la mer) et calculer principalement la ligne de l'isobathe 2 500 m et la ligne du pied du talus continental (grâce aux fonctions sur les ruptures de pente). La visualisation 3D d'un modèle met en évidence l'importance du plateau continental et explique clairement pourquoi celui-ci peut-être considéré comme le prolongement des terres immergées d'un pays en mer (fig. 11).

Apport des SIG aux processus de délimitation maritime

Les processus de délimitation maritime font intervenir plusieurs pays, ce qui implique des données géographiques d'origine et de nature très variées car chaque pays fournit ses propres renseignements. La solution pour traiter simultanément ces sources d'informations consiste à les incorporer dans un Système d'Information Géographique. Un SIG de dernière génération tel que S.I.S® offre un intérêt évident pour le processus de délimitation maritime.

Il permet de superposer "à la volée" des jeux de données définis dans des systèmes géodésiques différents et de les afficher dans le système de projection désiré. Pour cela il suffit d'associer la projection adéquate à chaque lot de données. En conservant ainsi les coordonnées initiales de chaque point, on évite les altérations liées aux changements de projection successifs.

Le SIG intègre une bibliothèque complète des projections existantes à travers le monde ainsi que les paramètres de passage d'un datum au datum de référence WGS 84 (datum-

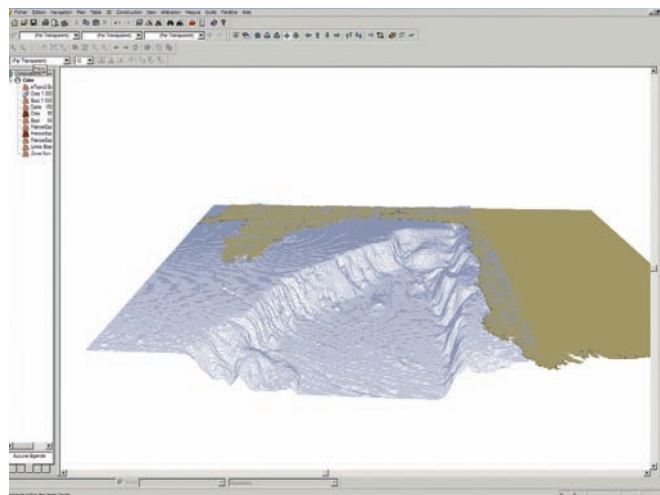


fig.11 Modélisation 3D du golfe de Gascogne (calculé à partir des données ETOPO2)

shifts). Ces informations, issues de la base de données de l'EPSG, sont stockées selon les standards définis par l'Open GIS Consortium (11). S.I.S® est actuellement la seule famille de produit complète à posséder la certification de conformité OpenGIS.

Le SIG lit plus d'une cinquantaine de formats de données, en plus des formats habituels vecteurs et raster (SHP, MIF/MID, E00, DXF, DWG, DGN, GML, TIFF, ECW, MrSID, etc.). Il relit également le format S57, format des cartes marines électroniques exploité par les systèmes de navigation ECDIS (Electronic Chart Display and Information System : SIG couplant en temps réel des cartes marines de type "S57" avec un système de positionnement de type GPS). Il lit également les bases de données de couverture mondiale telles que le VMAP (Vector Map) de la NIMA (National Imagery and Mapping Agency), le WVS (World Vector Shoreline), GEBCO et ETOPO2 (données bathymétriques). Ces bases de données, gratuites ou peu onéreuses, sont intéressantes pour réaliser des pré-études à moindre coût mais limitées du fait de la précision et de la fiabilité des données.

Comme nous l'avons vu, les critères géographiques traditionnels "terrestres" tels que la ligne d'équidistance ou la prise en compte de direction générale de la côte et de longueur de côte ne devraient pas être les seuls critères pour la définition de la délimitation maritime. Cette dernière devrait être une opération géopolitique à caractère global visant à parvenir à une meilleure équité. Là encore, le SIG se justifie car il permet de superposer et de représenter l'ensemble des critères sensés, tels que les ressources halieutiques ou pétrolières. Il constitue un outil d'analyse et d'aide à la décision. Le SIG permettrait également d'établir des plans de gestion des ressources naturelles, biologiques et écologiques. Cette notion de plan de gestion avancée par certains acteurs est récente et n'est pas encore exploitée par les juristes. Cette notion implique un engagement des États.

Ces nouvelles règles sur le droit de la mer entrées en vigueur en 1994 ont ouvert de nouvelles portes à de nombreuses professions liées aux domaines scientifiques des délimitations maritimes et renforcent l'importance des SIG en élargissant leur champ d'application à l'administration et la gestion de la mer. ●

Bibliographie

www.opengis.org : informations sur les standards définis par l'OGC®
www.voronoi.com : informations sur les diagrammes de Voronoï
<http://www.un.org/french/law/los/unclos/closindx.htm> : textes de lois de la Convention
"Droit de la Mer, tome 1" Laurent Lucchini et Michel Vœlckel
Paris éditions PEDONE
"Genèse du nouveau Droit de la Mer" Annick de Marffy
"Le sixième continent, géopolitique des océans", Pierre Papon,
Paris éditions Odile Jacob
"Manuel sur les aspects techniques de la Convention des Nations Unies sur le Droit de la Mer", Monaco, Bureau Hydrographique National
"The relevance of non-legal technical and scientific concepts in the interpretation and application of the law of the sea" N.R. GUY, Monaco, Bureau Hydrographique International

Contacts

Frédéric BIZET

Ingénieur ENSAIS

GEOMOD 89, rue de la Villette 69003 LYON

Tél : 04 37 56 10 99 - www.geomod.fr - fbizet@geomod.fr

Jean-Sylvain PONROY

Consultant offshore

js.ponroy@free.fr

Remerciements

Nous remercions spécialement, pour leur contribution à la rédaction de cet article :

M. Laurent LUCCHINI, professeur émérite à l'Université Panthéon-Sorbonne et Président du Conseil Scientifique de l'INDEMER

M. Christophe LE VISAGE, ingénieur hydrographe, chargé de mission au Secrétariat Général de la Mer.

- (1) Voir le site Internet <http://www.oceancommission.gov/>
- (2) A. de MARFFY. "La genèse du nouveau Droit de la Mer" Paris. éditions PEDONE
- (3) Les principales juridictions sont la Cour Internationale de Justice siégeant à La Haye et le Tribunal International du Droit de la Mer (TIDM) siégeant à Hambourg. Les États peuvent aussi avoir recours à un Tribunal spécial choisi par eux.
- (4) Voir le site Internet <http://www.indemer.org/>
- (5) Les textes de la Convention sont disponibles sur le site : <http://www.un.org/french/law/los/unclos/closindx.htm>
- (6) L'analyse complète de ces zones se trouvera dans l'ouvrage "Le Droit de la Mer" de Laurent LUCCHINI et Michel Vœlckel. Paris. éditions PEDONE
- (7) L'Autorité Internationale des Fonds Marins est une Organisation Internationale Autonome basée à Kingston (Jamaïque). <http://www.isa.org.jm/fr/default.htm>
- (8) La marge continentale, composée de roches sédimentaires, est la partie immergée des continents et représente environ 6 % de la surface terrestre soit 17 millions de kilomètres carrés
- (9) Les directives et autres documents de la CLCS sont disponibles sur le site : http://www.un.org/Depts/los/clcs_new/clcs_home.htm
- (10) Voir le site : www.voronoi.com
- (11) L'OGC est un regroupement de 258 entreprises, universités et organismes d'États dont le but est d'améliorer l'interopérabilité entre les SIG et de faciliter les calculs sur les données géographiques spatiales en définissant des standards d'échange, de calcul et de stockage de l'information géographique (cf. site de l'OpenGIS).

ABSTRACT

Key words : Maritime delineation, Median line, diagrams of Voronoï, Geodesy, Geographic Information System, Continental Shelf, Law of the Sea

The practical application of the new laws of the Convention on the law of the sea, entries into force in 1994 and governing maritime spaces of the Coastal states as well as the relationship between those is not without posing problems. It pushed the lawyers to request the intervention of multi-field teams. Indeed, the existence of vast maritime zones being able to measure more than 350 M requires competences in geodesy. The determination of the foot of the continental slope utilizes well-known fields of the companies of oil prospection: bathymetry and the seismic one. Finally the significant diversity of the data to be treated requires the use of well adapted GIS software.

Conception orientée objet : un modèle conceptuel de données pour le remembrement rural au Maroc suivant le formalisme CONGOO

■ El Hassane SEMLALI

La technologie objet revêt de plus en plus un intérêt croissant chez les chercheurs. Le formalisme CONGOO (CONception Géographique Orientée Objet), basé sur cette approche, s'applique aussi bien à des données ayant une représentation graphique référencée spatialement ainsi qu'à des données d'autres types. Cet article s'appuie sur ce formalisme pour développer un MCD (Modèle Conceptuel de Données) relatif à un projet de remembrement rural en irrigation au Maroc. Le modèle établi se compose de deux couches, vingt classes, trente et un objets, quatre relations de structure, une contrainte et près de deux milles relations topologiques. Ce modèle a servi de base pour l'implantation d'une solution SIG aux problèmes techniques de recasement parcellaire dans un projet de remembrement rural.

■ MOTS CLES

Conception,
Base de données,
MCD, formalisme
CONGOO,
remembrement.

La conception et le développement d'une base de données constituent une opération très complexe, qui nécessite des outils et méthodes adaptés. Elle fait intervenir un personnel qualifié et des moyens financiers importants.

Les méthodes de conception se distinguent par les raisonnements suivis pour traiter les problèmes posés. Ces raisonnements utilisent une série de notations et de règles propres à chaque méthode, l'ensemble de ces notations désigne ce qu'on appelle un formalisme.

À travers cet article, nous essayons de mettre en évidence l'importance du niveau conceptuel dans la conception d'une base de données géographiques, notamment par la présentation d'un MCD provenant d'une expérience pratique sur le remembrement au Maroc. Dans cette perspective, nous rappelons très succinctement les notions de base de la conception d'une base de données, puis, nous présentons un aperçu sur les principaux concepts du formalisme CONGOO (CONception Géographique Orientée Objet). Enfin, nous terminons par l'élaboration d'un Modèle Conceptuel de Données (MCD) pour le remembrement rural au Maroc en irrigation, selon les règles du formalisme CONGOO. Le modèle ainsi développé est suivi par une analyse de ses différentes composantes et les relations qui les lient.

Conception de base de données

La phase conceptuelle se trouve en amont des étapes de la réalisation d'une base de données. Une base de données est une collection de données non redondantes stockées de manière

structurée sur un support identique dont la gestion et le procédé de stockage sont assurés par un logiciel appelé système de gestion de bases de données (Pantazis et Donnay, 1996).

La conception d'une base de données est une opération délicate qui nécessite un investissement important. Cette conception peut être subdivisée en trois niveaux (Flory, 1987) : le niveau conceptuel, le niveau logique et le niveau physique. Au niveau conceptuel, on décrit les informations à manipuler et leur organisation logique indépendamment des contraintes de la technologie du SGBD mobilisé. On établit un Modèle Conceptuel de Données pour représenter la réalité en fonction des objectifs et des besoins auxquels doit satisfaire la base de données. La phase conceptuelle consiste à intégrer l'ensemble des vues spécifiques de chaque utilisateur dans une représentation qui élimine la redondance (Flory, 1987). Pour faire simple on peut dire qu'au niveau conceptuel on précise le quoi intégrer dans la future base de données pour répondre aux besoins. Précisons que dans le cadre de cet article, on se limite à la description de la phase conceptuelle.

Au niveau logique, on utilise un modèle logique de données, on s'inspire des résultats et modèles du niveau conceptuel pour décrire les informations en fonction des logiciels utilisés pour la mise en place de la base de données. À ce niveau on se concentre sur la question comment intégrer le quoi dans la future base de données pour répondre aux besoins et en fonction du type de technologie choisie ?

Le niveau physique concerne la façon de ranger les données sur le support physique comprenant entre autre la description des noms, l'organisation des données, la structure et la lon-

■ ■ ■ gueur des enregistrements, ... (Bisson, 1997). Ce niveau traduit les niveaux précédents en réalisations concrètes. C'est le niveau des lignes de code, ... totalement dépendant de l'outil informatique et qui permet d'optimiser la structure de données. Après le quoi et le comment, c'est ici l'étape de l'implantation de la structure de données proprement dite.

■ Modèle conceptuel de données (MCD)

Un modèle conceptuel de données est la représentation de l'ensemble des données mémorisables du domaine, sans tenir compte des aspects techniques, économiques du stockage ou de l'accès. Il n'est pas nécessaire de se référer aux conditions d'utilisation par tel ou tel traitement (Nancy et al. 1992, cité par Pantazis et Donnay, 1996). Selon Dionisi (Dionisi, 1997), le modèle conceptuel de données décrit le sens attaché aux données et à leurs rapports sans tenir compte de l'utilisation qui peut en être faite. Grady et al. (Grady et al., 1999) précise que le niveau conceptuel doit prendre en compte explicitement les besoins des futurs usagers.

L'objectif principal d'un modèle conceptuel de données est d'identifier et de décrire les objets du domaine étudié, leurs attributs, et les relations qui lient ces objets entre eux et ce en fonction de l'analyse des besoins qui doit précéder. À ce niveau on essaie d'obtenir un ensemble cohérent d'informations qui sera utilisé pour tout besoin exprimé par les utilisateurs (Flory, 1987).

Le formalisme CONGOO

Le formalisme CONGOO (CONception Géographique Orientée Objet) s'applique aussi bien à des données ayant une représentation graphique référencée spatialement ainsi qu'à des données d'autres types. Les trois concepts objet, instance (ou occurrence) et classe sont utilisés par CONGOO. Les fondements de base de ce formalisme sont détaillés dans Pantazis et Donnay (1996). Nous présentons ci-dessous les principaux concepts pour permettre au lecteur de comprendre les composantes du MCD établi.

Ce formalisme encore jeune, a été développé à l'université de Liège, il est choisi dans le cadre de cette recherche pour pouvoir tester sa puissance comme outil pour la conception et le contrôle de la topologie des bases de données géographiques.

CONGOO est rigoureux et puissant, il permet une description des réalités même complexes. Il offre une large gamme de concepts de modélisation des données géographiques, permet de réaliser des contrôles d'exactitudes des relations topologiques entre les données géographiques et représenter ces relations avec les deux concepts le voisinage et la superposition. Ajoutons à cela que ce formalisme combine les avantages des modèles sémantiques traditionnels de type relationnels, et ceux de type Orientés objets.

■ Les types et classes d'objets

Dans le formalisme CONGOO (Pantazis et Donnay, 1996), les objets géographiques sont référencés spatialement et repré-

sentés graphiquement (par des points, lignes, polygones, surfaces ou une combinaison de ces éléments). CONGOO utilise trois sous-catégories d'objets géographiques : les objets géographiques simples, les objets géographiques composés, et les objets géographiques complexes.

Une classe réunit l'ensemble des objets sémantiquement homogènes qu'elle contient. Elle associe toutes les instances représentées par ces objets. Quant aux couches, elles désignent des ensembles d'objets et des classes d'objets ayant des relations en commun et le plus souvent géométriquement homogène.

■ Les relations

Le formalisme CONGOO reconnaît trois types de relations : les relations de structure, les relations topologiques et les relations logiques.

Les relations de structure

On distingue deux types de relations de structure : la relation de généralisation-spécialisation et la relation composé-composants.

La première existe lorsqu'une classe générale se spécialise en d'autres classes ou lorsque plusieurs classes spéciales se généralisent en une classe générale. Ce type de relation existe entre les classes seulement.

La seconde traduit la représentation de la composition d'un objet (simple, composé, complexe), d'une classe ou d'une couche (ou sous-couche). Ce type de relation est appliqué entre des objets, des classes, des couches ou leurs combinaisons. Pour cette relation, on définit également la "ligne d'exclusivité" qui introduit une contrainte sur la composition d'un objet. Cette ligne sert pour indiquer de manière exclusive les composants d'un objet, elle est surtout utile pour les objets géographiques qui sont composés de composants totalement différents.

Pour illustrer la relation composé-composants on peut citer l'exemple de la composition d'une province par l'ensemble de ses communes. Un objet province de type polygone, est divisé en communes (type polygone) qui couvrent l'ensemble de son territoire. La classe PROVINCES est alors composée exclusivement de la réunion des instances de la classe COMMUNES, cette propriété est représentée par une ligne comme le montre la figure 1.

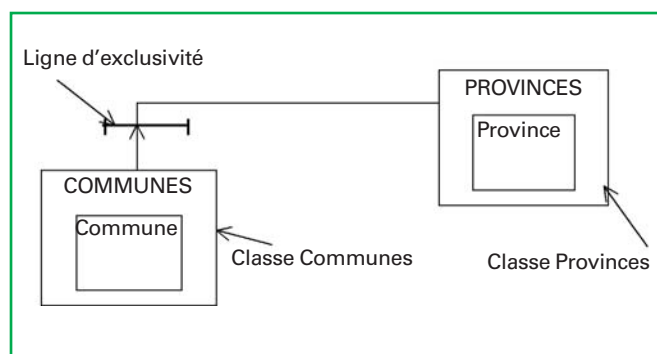


Figure 1. Relation composé-composant et ligne d'exclusivité

Les relations topologiques

La topologie permet de décrire le niveau relationnel des données spatiales. On utilise les relations topologiques pour exprimer les liaisons de voisinage, d'adjacence, d'intersection, d'appartenance et d'inclusion entre objets. L'utilisation de ces relations se justifie comme un moyen de contrôle de la cohérence de la base de données géographiques.

Deux relations topologiques de base sont définies par le formalisme CONGOO : le voisinage (désigné par V) et la superposition (désignée par S). Ces deux relations sont appliquées entre instances, objets, classes, couches et sous-couches, et leurs combinaisons.

On distingue les relations topologiques permises et les relations topologiques obligatoires. Les premières peuvent exister ou non entre les objets et les instances, les dernières doivent obligatoirement exister entre les objets, elles sont soit positives soit négatives. Les relations obligatoires positives désignent une obligation, alors que les négatives signifient une interdiction.

Pour illustrer ces relations nous présentons le cas d'un lac qui se situe au sein d'une forêt (figure 2). Dans ce cas de figure, on dira que la forêt (type polygone troué) a un voisinage partiel avec le lac car seulement son contour interne est en voisinage avec le lac. Alors que le lac possède un voisinage total avec la forêt car sa limite est totalement voisine au contour interne du polygone forêt. Dans ce cas précis, il ne peut pas exister un voisinage total de la forêt avec le lac, on dira que le voisinage total de la forêt avec le lac est interdit (on le note $-V_t$), mais le voisinage total du lac avec la forêt est obligatoire (noté $+V_t$). Par contre, les superpositions totale et partielle entre les deux objets sont interdites ($-S_{t,p}$) car le polygone lac ne peut pas se superposer sur le polygone forêt.

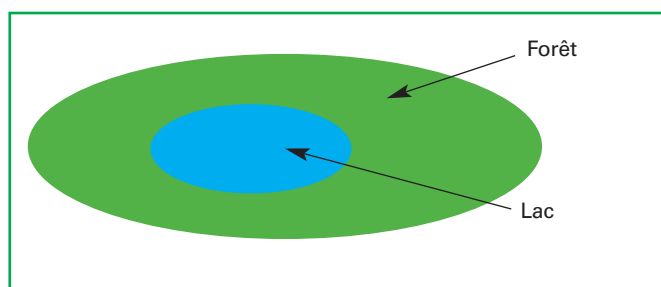


Figure 2. Relations de Voisinage et de superposition

Les relations logiques

Les relations logiques désignent toutes les autres relations qui ne sont ni des relations de structure ni des relations topologiques. On représente ce type de relation par des lignes qui relient les objets en question, en ajoutant les cardinalités correspondantes.

Les composantes d'un MCD pour le remembrement suivant le formalisme CONGOO

Pour établir un MCD suivant le formalisme CONGOO, nous suivons les étapes suggérées par les auteurs du formalisme.

■ Identification et description des objets géographiques

Les données géographiques qui peuvent exister dans un projet de remembrement rural au Maroc sont résumées dans la table 1. Dans la même table, on identifie également l'identifiant, le mode d'implantation des objets, les classes et les couches selon le formalisme CONGOO. On compte 2 couches d'objets géographiques et 20 classes simples que l'on décrit sommairement de la manière suivante (voir aussi les figures 3, 4, 5 et 6) :

La couche EXCLUS est l'ensemble des classes d'objets et leurs relations décrivant les limites des objets à exclure du projet de remembrement, elle contient six classes d'objets simples ou composés, type polygone (figure 6).

La couche EAU ensemble de quatre classes d'objets et leurs relations, ce sont des objets géographiques composés ou simples, de type polygone. Cette couche décrit les éléments du réseau hydrographique tels que les lacs, les rivières et les barrages. Les couches sont représentées sur le MCD par un trait gras de couleur rouge (figure 3).

La classe PARCELLES : représente les limites des parcelles de reconnaissance, les titres fonciers et les réquisitions d'immatriculation, ce sont les parcelles qui composent les propriétés avant remembrement. Cette classe contient des objets géographiques simples (Pv S) ou composés (Pv C), de type polygone. La classe PARCEL_AT composée d'objets géographiques simples (Pp S) ou composés (Pp C), de type poly-

Objet géographique	Identifiant	Type	Classe	Couche
Propriété avant -S	Pv S	OGS Poly	PARCELLES	
Propriété avant -C	Pv C	OGC Poly	PARCELLES	
Bloc d'aménagement	BI	OGS Poly	BLOCS	
Classe de sol -S	CI S	OGS Poly	SOLS	
Classe de sol -C	CI C	OGC Poly	SOLS	
Secteur	Se	OGC Poly	SECTEURS	
Propriété après -S	Pp S	OGS Poly	PARCELLES_AT	
Propriété après -C	Pp C	OGC Poly	PARCELLES_AT	
Forêt -S	Fo S	OGS Poly	FORÊTS	EXCLUS
Forêt -C	Fo C	OGC Poly	FORÊTS	EXCLUS
Plantation -S	Pt S	OGS Poly	PLANTATIONS	EXCLUS
Plantation -C	Pt C	OGC Poly	PLANTATIONS	EXCLUS
Rocher	Rc	OGS Poly	ROCHERS	EXCLUS
Cimetière	Ci	OGS Poly	CIMETIERES	EXCLUS
Habitat -S	Ha S	OGS Poly	HABITATS	EXCLUS
Habitat -C	Ha C	OGC Poly	HABITATS	EXCLUS
Plus-value	Pl	OGS Poly	PLUS-VALUES	EXCLUS
Route -S	Ro S	OGS Poly	ROUTES	
Route -C	Ro C	OGC Poly	ROUTES	
Piste -S	Pi S	OGS L	PISTES	
Piste -C	Pi C	OGC L	PISTES	
Puits	Pu	OGS P	PUITS	
Rivière -S	Ri S	OGS Poly	RIVIERES	EAU
Rivière -C	Ri C	OGC Poly	RIVIERES	EAU
Lac -S	La S	OGS Poly	LACS	EAU
Lac -C	La C	OGC Poly	LACS	EAU
Barrage	Ba	OGS Poly	BARRAGES	EAU
Station pompage	Sp	OGS Poly	ST.POMPAGE	EAU
Canal d'irrigation-S	Cp S	OGS L	CANAUX IRRIGATION	
Canal d'irrigation-C	Cp C	OGC L	CANAUX IRRIGATION	
Point de contrôle	Pc	OGS P	PT.CONTROLE	

Table 1. Description des objets, classes et couches selon CONGOO

gone, elle représente les limites des parcelles attribuées après remembrement (figure 4).

La classe SECTEURS représente les limites du secteur à remembrer. Elle est composée d'une classe d'objets géographiques composés (Se), de type polygone (figure 3). Notons que les attributs des objets représentés ainsi que les cardinalités ne figurent pas sur le modèle conceptuel de données.

■ Établissement des matrices des relations topologiques

Le formalisme CONGOO prévoit le développement de matrices de voisinage, de superposition exprimant les relations topologiques entre tous les objets spatiaux. Ces matrices facilitent les traitements imposés par des recherches spatiales non définies a priori (Pantazis et Donnay, 1996).

Dans la matrice des relations topologiques obligatoires on fait précéder la relation d'un signe plus (+) lorsqu'il s'agit d'une obligation et d'un signe moins (-) quand il s'agit d'une interdiction. Pour le Modèle Conceptuel de Données établi, une vue d'ensemble des matrices intégrées des relations topologiques donne un tableau de 31 lignes sur 31 colonnes. Les tables 2 et 3 illustrent quelques exemples des relations topologiques obligatoires et permises qui existent entre certains objets géographiques avant remembrement.

Exemples de relations topologiques obligatoires (table 2) : Entre les instances de la classe SOLS (CI S) et celles de la classe SECTEURS (Se), les relations de superposition totale sont obligatoires (+St), les relations de superposition nulle et partielle sont interdites (-Sn,p), les relations de voisinage totale sont interdites (-Vt).

Entre les instances de la classe SOLS les relations de superposition nulle sont obligatoires (+Sn), les relations de superposition partielle et totale sont interdites (-Sp,t), alors que les relations de voisinage totale sont interdites (-Vt).

Entre les instances de la classe SOLS et celles de la classe RIVIÈRES (Ri S) les relations de superposition nulle sont obligatoires (+Sn), alors que les relations de superposition partielle et totale et de voisinage totale sont interdites (-Sp,t et -Vt).

Entre les instances de la classe PUITs (Pu) et celles de la classe SECTEURS, Les relations topologiques de superposition totale sont obligatoires (+St), c'est-à-dire que tous les puits de la zone à remembrer doivent obligatoirement se superposer au secteur de remembrement étudié. Entre les instances de cette classe PUITs et celles de la classe RIVIÈRES, les relations de superposition nulle et de voisinage

Relation obligatoire →	Se	CI S	Ri S
CI S	+St -Sn,p -Vt	+Sn -Sp,t -Vt	+Sn -Sp,t -Vt
Pu	+St		+Sn -St +Vn -Vt

Table 2. Exemples de la matrice des relations topologiques obligatoires

nulle sont obligatoires (+Sn et +Vn), alors que les relations de superposition totale et de voisinage totale sont interdites (-St et -Vt). Les relations ne s'appliquent pas entre les classes PUITs et SOLS (CI S).

Exemples de relations topologiques permises (table 3) : Les relations de voisinage partiel et nul (Vp,n) sont permises entre les instances de la classe PARCELLE (Pv S) et les instances des classes PARCELLES, SECTEURS (Se) et FORETS (Fo S).

Les relations topologiques de superposition partielle et totale (Sp,t) et de voisinage partiel, nul et total (Vp,n,t) sont permises entre les instances des classes SOLS (CI S) et PARCELLES (Pv S).

Entre les instances de la classe PUITs (Pu) et celles des classes PARCELLES et FORETS les relations de superposition totale et nulle (St,n) et de voisinage total et nul (Vt,n) sont permises, alors que seules les relations de voisinage total et nul (Vt,n) sont permises entre les instances des classes PUITs et SECTEURS (Se).

Relation permise →	Pv S	Se	Fo S
Pv S	Vp,n	Vp,n	Vp,n
CI S	Sp,t Vp,n,t	Vp,n	Vp,n
Pu	St,n Vt,n	Vt,n	St,n Vt,n

Table 3. Exemples de la matrice des relations topologiques permises

Analyse du Modèle Conceptuel de Données

Le MCD établi contient 2 couches, 20 classes, 31 objets, 4 relations de structure, une contrainte (figures 3, 4, 5, 6 et 7) et près de deux milles relations topologiques.

La classe SECTEURS (figure 3) : La classe SECTEURS est une classe d'objets géographiques composée polygone. Les instances des couches EXCLUS et EAU, et les instances des classes PARCELLES et ROUTES sont superposées totalement (+St) à la classe SECTEURS. Une "ligne d'exclusivité", montre que la classe SECTEURS est composée exclusivement de toutes les instances des couches EXCLUS et EAU, et de toutes les instances des classes PARCELLES et ROUTES. Sur la figure 3, ces quatre relations composé-composants sont illustrées par des lignes en vert, alors que la ligne d'exclusivité est représentée en bleu.

Les superpositions nulles (+Sn) sont obligatoires entre les instances de la classe PARCELLES et les couches EXCLUS, EAU d'une part et entre les instances de cette classe et celles de la classe ROUTES. C'est-à-dire qu'aucune instance des couches EXCLUS, EAU et aucune instance de la classe ROUTES ne peut se superposer sur une instance de la classe PARCELLES. Les relations de superposition nulle (+Sn) sont obligatoires entre les instances de la classe SECTEURS, alors que les relations de voisinage partiel et nul sont permises (+Vp,n). Cela veut dire qu'aucune instance de cette classe ne peut se superposer sur une autre.

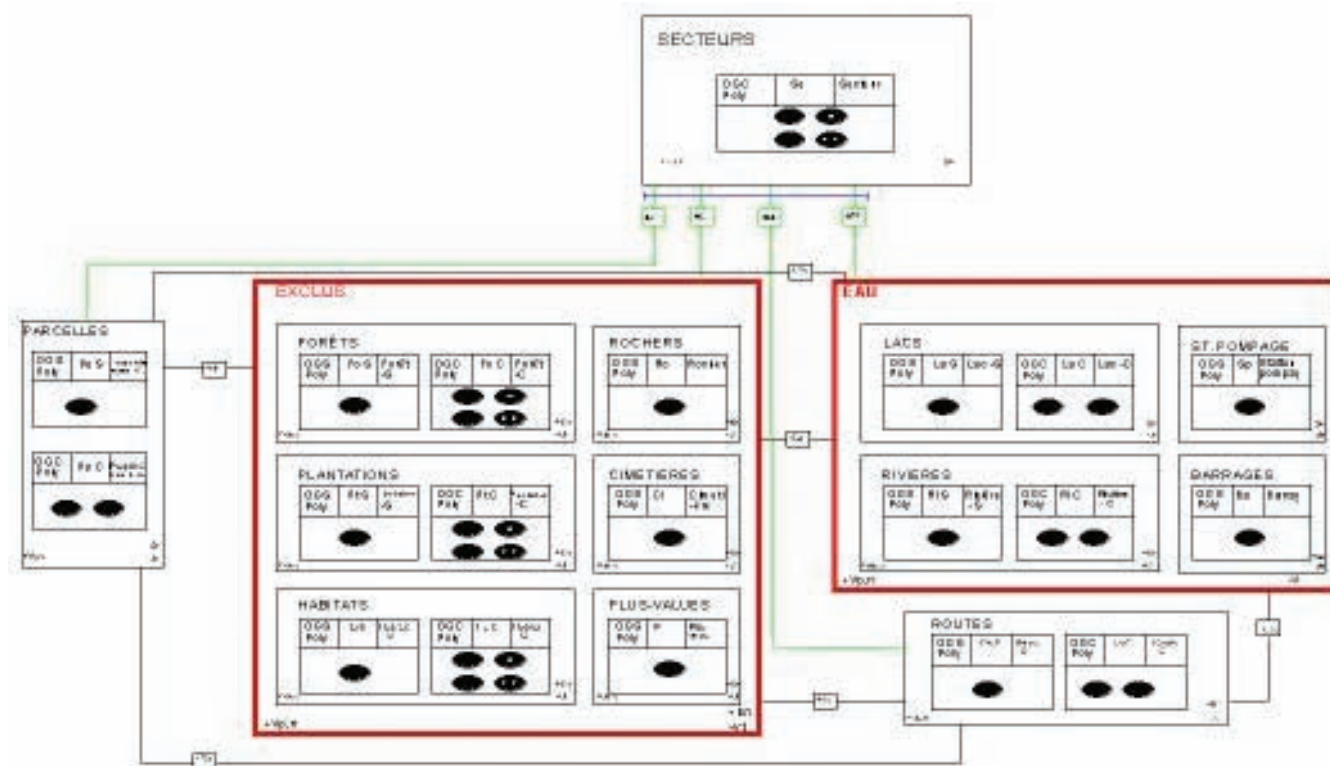


Figure 3. la classe SECTEURS

Entre les instances de la classe ROUTES et les instances de la couche EXCLUS, les relations topologiques de superposition nulle sont obligatoires. Entre les instances de la classe ROUTES et celles de la couche EAU, les relations topologiques de superposition nulle sont également obligatoires. Sont interdites les relations de superposition totale et partielle (-St,p) entre les instances des couches EAU et EXCLUS.

Les classes PARCELLES et PARCELLES_AT (figure 4) : La classe PARCELLES contient une seule classe d'objets géographiques simples et composés type polygone. Entre les instances de cette classe, les relations de superposition nulle sont obligatoires (+Sn), les relations de voisinage total sont interdites (-Vt), les relations de voisinage partiel et nul sont permises (+Vp,n). Les instances de la classe PARCELLES se superposent partiellement ou totalement (+Sp,t) aux instances des classes SOLS, BLOCS et PARCELLES_AT. Les superpositions nulles (+Sn) sont obligatoires entre les instances de la classe PARCELLES et celles de la classe ROUTES. C'est-à-dire qu'aucune instance de la classe ROUTES ne peut se superposer sur une instance de la classe PARCELLES.

La classe PARCELLES_AT contient des objets géographiques simples et composés type polygone. Entre les instances de la classe, les relations de superposition nulle sont obligatoires, les relations de voisinage total sont interdites (-Vt), les relations de voisinage partiel et nul sont permises (+Vp,n). Les instances de cette classe se superposent partiellement ou totalement aux instances de la classe SOLS (Sp,t). Les relations topologiques de superposition totale ou partielle sont obligatoires entre les instances de la classe PARCELLES_AT et celles des classes BLOCS et PARCELLES. Les relations de superpo-

sition nulle sont obligatoires (+Sn) entre la classe PARCELLES_AT et les instances de la classe ROUTES.

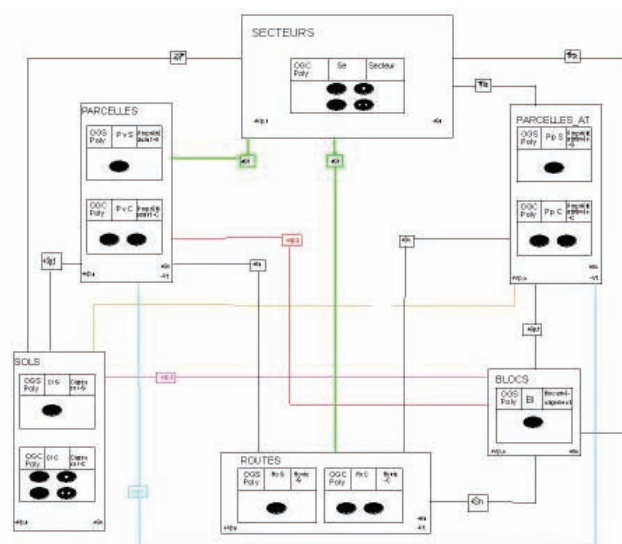


Figure 4. Les classes PARCELLES et PARCELLES_AT

La classe BLOC contient une seule classe d'objets géographiques simples polygones. Entre les instances de cette classe les relations de superposition nulle sont obligatoires (+Sn), les relations de voisinage partiel et nul sont permises (+Vp,n).

La classe SOLS contient également une seule classe d'objets géographiques simples et composés type polygone. Entre les instances de cette classe, les relations de superposition nulle sont obligatoires, les relations de voisinage partiel et nul sont permises (+Vp,n).

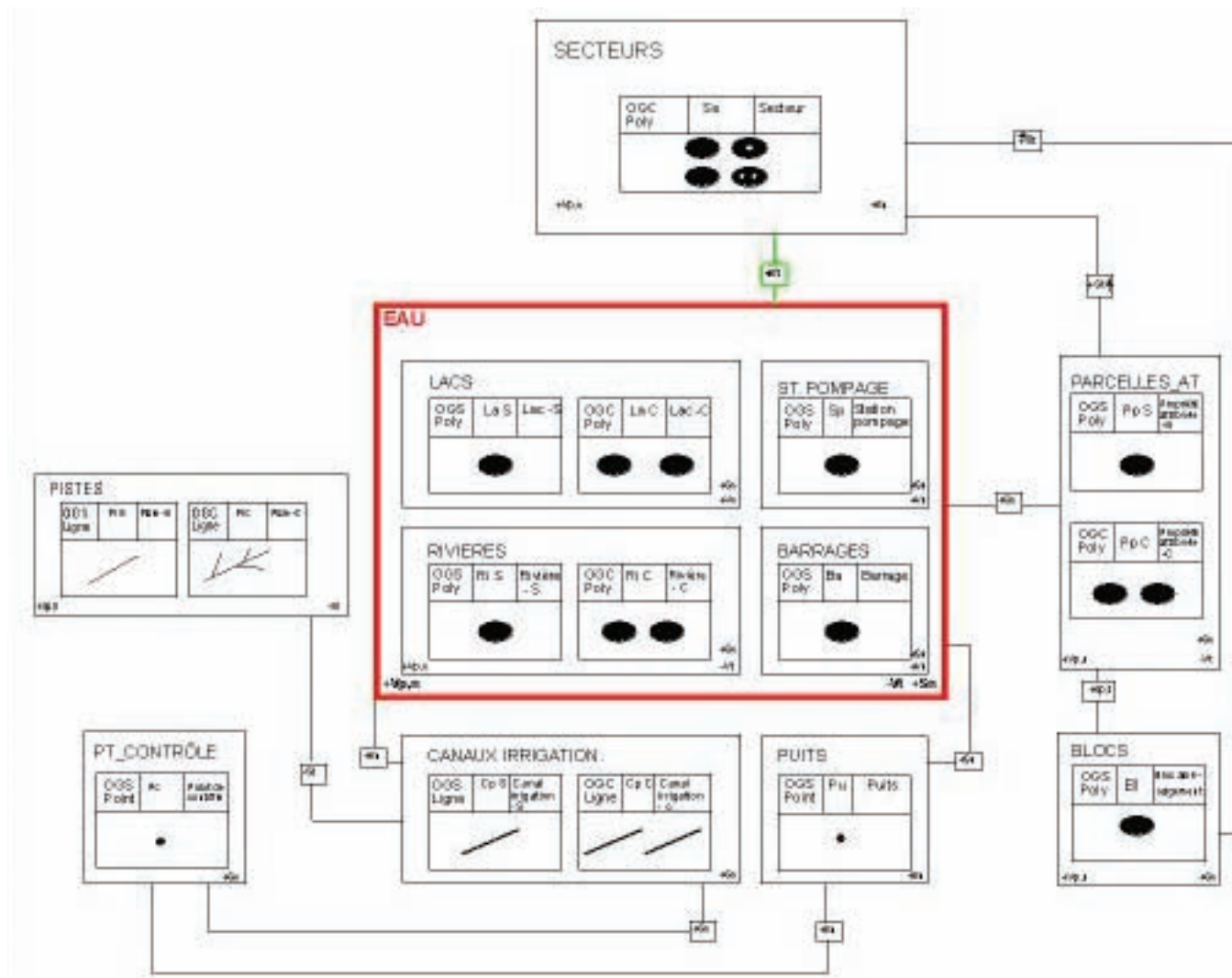


Figure 5. La couche EAU

■■■ **La couche EAU** (figure 5) : La couche EAU est composée de quatre classes d'objets géographiques simples et composés. Entre les objets de cette couche les relations topologiques de superposition nulle sont obligatoires (+Sn), les relations topologiques de voisinage partiel et nul sont permises (+Vp,n). La classe PISTES est constituée d'objets géographiques simples et composés, type ligne. Rappelons que dans le cas des lignes, les relations topologiques de voisinage ne s'appliquent pas selon le formalisme CONGOO. Cependant, les relations topologiques de superposition totale sont interdites entre les instances de cette classe (-St), alors que les relations topologiques de superposition partielle et nulle sont permises (+Sp,n).

La classe CANAUX IRRIGATION est formée d'objets géographiques simples et composés, représentation ligne. Entre les instances de cette classe les relations topologiques de superposition nulle sont obligatoires. Entre les instances de la classe PISTES et les instances de la classe CANAUX IRRIGATION, les relations topologiques de superposition totale sont interdites (-St).

La classe PUIITS est formée d'objets géographiques simples, type point. Entre les instances de cette classe les relations

topologiques de superposition nulle sont obligatoires. Les relations de voisinage ne s'appliquent pas dans ce cas. Les relations topologiques de superposition nulle sont obligatoires (+Sn) entre les classes de la couche EAU et les classes PARCELLES_AT, PUIITS, CANAUX IRRIGATION.

La classe PT_CONTRÔLE est une classe particulière, elle contient une seule classe d'objets géographiques simples, type point. Entre les instances de cette classe, les relations topologiques de superposition nulle sont obligatoires. Les relations topologiques de superposition nulle sont obligatoires entre les instances de cette classe et celles des classes PUIITS et CANAUX IRRIGATION.

La couche EXCLUS (figure 6) : La couche EXCLUS contient six classes d'objets géographiques de type OGS-polygones et OGC-polygones. Entre les objets de la couche, les relations topologiques de voisinage partiel ou nul sont permises (+Vp,n), les relations de superposition nulle sont obligatoires (+Sn), alors que les relations topologiques de voisinage total sont interdites (-Vt). Entre les instances de la classe ROUTES et les instances de la couche EXCLUS, les relations topologiques de superposition nulle sont obligatoires (+Sn), c'est

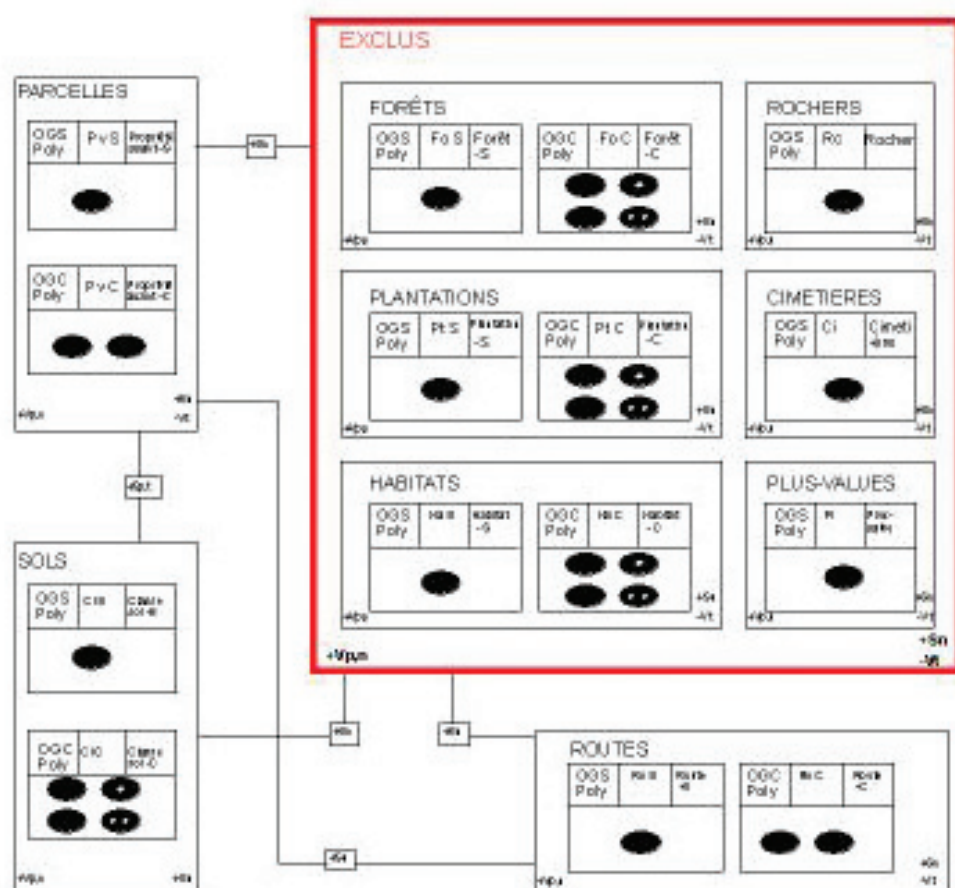


Figure 6. La couche EXCLUS

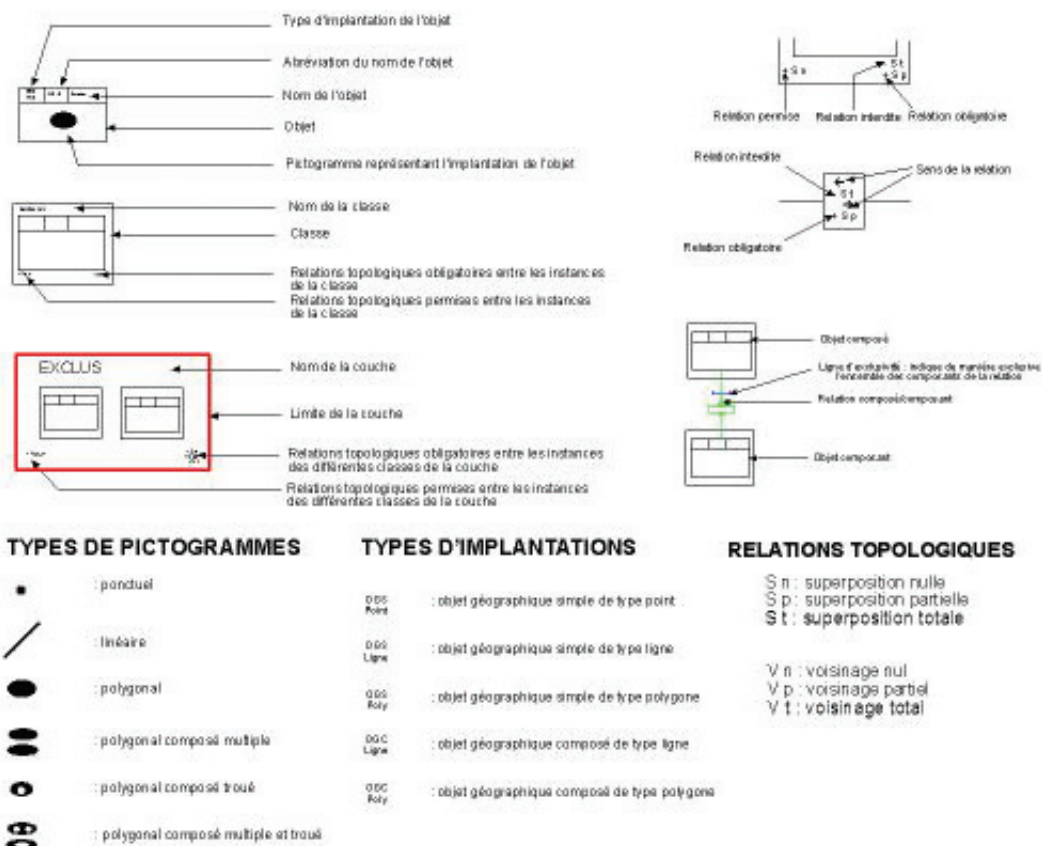


Figure 7. Légende des notations utilisées dans MCD (adaptés de Billen et al., 1998)

- ■ ■ dire qu'aucune route par exemple, ne peut se superposer sur des objets tels que forêt, habitats ou plantations.

Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté les étapes suivies dans la conception et l'établissement d'un Modèle Conceptuel de Données pour le remembrement rural au Maroc suivant le formalisme CONGOO. Le modèle établi est un modèle original qui combine et présente le passé et le présent d'une situation en devenant un outil de travail efficace. Il contient les données avant et après remembrement, ainsi que les relations qui peuvent exister entre les deux époques, ce qui le rend un outil efficace pour l'analyse de l'historique des deux situations. Les données avant remembrement sont représentées par les couches EXCLUS, EAU et par les classes SECTEURS, PARCELLES, SOLS, ROUTES, PISTES, PUITs et PT_CONTRÔLE. Dans la situation après remembrement, on retrouve les couches EXCLUS, EAU et les classes SECTEURS, SOLS, ROUTES, PUITs et PT_CONTRÔLE. Les nouvelles classes dans la situation future sont PARCELLES_AT, BLOCS, et CANAUX IRRIGATION. La classe PARCELLES se transforme en une nouvelle classe qui est la classe PARCELLES_AT.

Ce modèle peut servir pour le contrôle des erreurs tels que le contrôle des superficies au niveau d'un secteur de remembrement. La somme des superficies de toutes les instances des couches, EAU ; EXCLUS ; et des classes PARCELLES et ROUTES, doit être égale à celle des instances de la classe SECTEURS. La somme des superficies des instances de la classe PARCELLES_AT doit être inférieure à celles de la classe PARCELLES d'une part, et inférieure ou égale à celle de la classe BLOCS d'autre part.

La phase suivante consiste à traduire le modèle conceptuel et mettre en place la base de données dans un environnement matériel et logiciel choisi. Ce modèle a été considéré comme élément de base pour la mise en place d'une solution SIG aux problèmes techniques de recasement parcellaire dans un projet de remembrement rural au Maroc (Semlali, 2001). ●

Contact

El Hassane SEMLALI

Enseignant chercheur, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

Filière de Formation en Topographie

Email : e.semlali@iav.ac.ma

Références

Ayach M., Flory A., 1996. *Approche Orientée Objet - Concepts et utilisation.* Editions Economica, 112 p.

Aronoff S., 1989. *Geographic Information Systems : A Management Perspective.* WDL publications, Ottawa, Canada, 294 p.

Billen R., Pantazis D., Donnay J-P., 1998. *Validation des modèles conceptuels de données de la base Brussels Urbis 2,* rapports scientifiques et techniques n° 9, Laboratoire SURFACES, Université de Liège.

Bisson B., 1997. *Modèles de Données - Etudes Conceptuelle et relationnelle.* Editions Economica, 112 p.

Dionisi. D., 1997. *L'essentiel sur Merise.* Editions Eyrolles, Paris, 257 p.

Flory A., 1987. *Bases de données Conception et réalisation.* Editions Economica, 164 p.

Grady B., Rumbaugh J. & Jacobson I., 1999. *The Unified Modeling Language - User Guide,* Addison-Wesley, Don Mills (Ontario).

Laurini R. et Milleret-Raffort, 1993. *Les bases de données en géomatique.* Editions Hermes, 340 p.

Laurini R., Thompson D., 1993. *Fundamentals of Spatial Information Systems.* The APIC series, Academic Press, London, 680 p.

Pantazis D. et Donnay J-P., 1996. *La Conception de SIG - Méthode et Formalisme.* Collection Géomatique, Paris : Hermes, 343 p.

Pornon H., 1990. *Systèmes d'Information Géographique, des concepts aux réalisations.* Service technique de l'urbanisme. Hermes, 108 p.

Semlali E. H., 1999. *La géomatization des projets de remembrement rural au Maroc - Essai de conception et d'implémentation,* Thèse de doctorat en Sciences, Université de Liège, Belgique.

Semlali E. H., 2001. *À GIS solution to land consolidation technical problems in Morocco.* Actes de la Fédération Internationale des Géomètres, FIG working week 8-11 mai 2001, Séoul.

ABSTRACT

Key words : Database design, Data base, CDM, formalism CONGOO, land consolidation

The object oriented approach is attracting the interest of many authors and searchers. The formalism CONGOO (CONception Geographique Orientée Objet) applies to graphic data referenced spatially as well as to other type of data. This article consists in establishing a CDM (Conceptual Data Model) for a land consolidation project in Morocco using this formalism. The established model consists of two layers, twenty classes of objects, thirty one objects, four relations of structure, a constraint and about two thousands topological relations. This model served as a basis for the establishment of a GIS solution to technical problems in a project of land consolidation in irrigated areas.

Un réseau de type VRS (stations virtuelles de référence) GPS + GLONASS révolutionne la prise de mesures par satellites sur le terrain

Le réseau de stations permanentes GNSS' SWISSAT

■ Laurence LANGLOIS

Swissat a mis en place un réseau de type VRS (Stations virtuelles de référence) GPS + GLONASS de 24 stations de référence réparties sur tout le territoire suisse. L'utilisation combinée des systèmes GPS + GLONASS améliore la fiabilité et les performances du système de positionnement. Il apporte aux professionnels de la mesure de véritables avantages techniques, structurels et financiers. La précision garantie est de 2 centimètres en planimétrie et de 3-4 centimètres en altimétrie. Il représente une vraie solution nationale, puisque tous les utilisateurs sur le terrain travaillent dans le même référentiel. Lorsqu'on utilise le service de corrections de mesures proposé par Swissat, l'investissement pour l'utilisateur est divisé par deux. L'Europe parie sur la constellation russe. En effet, en janvier 2003, la constellation a été intégrée au programme Galileo.

MOTS CLES

GPS - GLONASS - Galileo - GNSS - VRS - Rover - Mobile - Station de référence - Station virtuelle de référence - Station de base - Station de base virtuelle - Station permanente - RTK - RTCM - Rinx - GSM - Phase - Code - Sigma.

modèle d'erreur. Ce service proposé par Swissat permet de localiser, à l'aide d'un seul récepteur GPS et GLONASS, un point avec une précision centimétrique.

Aujourd'hui, Swissat a pénétré le marché suisse avec ses produits, non seulement elle vend son service de positionnement RTK, mais elle est aussi le principal revendeur en Suisse des récepteurs GPS du fabricant TOPCON. Swissat est une société du groupe suisse: SWISSPHONE. SWISSPHONE est une entreprise active depuis plus de 30 ans dans le design, la construction, le développement et la maintenance de réseaux radio et télécommunication. Ayant l'appui d'un des plus grands constructeurs de réseaux de télécommunication suisse, Swissat a monté en un an un réseau de stations permanentes GPS+GLONASS.

La technique de positionnement RTK de Swissat

Swissat possède un réseau de 24 stations de références. Chacune de ces stations observe en continu les satellites des constellations russe et américaine.

Les données collectées par les stations permanentes sont des mesures de pseudo-distances et de phases sur les deux fréquences L1 et L2. Elles sont transmises au centre de calcul sous le



Figure 1 : Réseau de 24 stations GNSS Swissat

La société Swissat

Swissat est une entreprise suisse de service dans le domaine des techniques de mesures par GNSS (Global Navigation Satellite System). C'est à la suite d'un travail de fin d'études d'une élève de l'ESGT (Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes du Mans), Valérie Renaudin, qu'a été créée l'entreprise Swissat en mai 2000. Swissat AG gère aujourd'hui, en tant que société indépendante, un réseau de 24 stations

permanentes GPS et GLONASS réparties sur l'ensemble du territoire suisse et destiné principalement aux applications RTK.

Elle propose deux produits :

- Des données brutes enregistrées par les stations de référence au format RINEX
- Des corrections RTCM émises via une connexion GSM. Ces corrections sont produites par un ordinateur central qui calcule, à partir des observations des différentes stations de références, un



Figure 2 : Station permanente d'Arosa

■■■ format propriétaire des récepteurs TOPCON. Ensuite, elles sont traitées par un logiciel qui, grâce aux observations des différentes stations de référence du réseau, détermine un modèle d'erreur. Concrètement voici comment fonctionne ce service de positionnement : L'utilisateur mobile transmet sa position absolue au centre de calcul. Cette dernière, dont la précision peut aller de 5 à 50 mètres, est utilisée par la centrale pour extraire du modèle de correction les corrections à renvoyer à la station mobile. Ces corrections correspondent en réalité aux observations que ferait une station de base ayant pour coordonnées la solution de navigation. Le processus est donc le même que celui du GPS différentiel où l'utilisateur met en place sa station de base sur un point connu, et où dès l'initialisation terminée, le mobile, qui cherche à déterminer de nouveaux points, reçoit les corrections émises par la base. Cependant dans le cas de Swissat, la base n'existe pas physiquement. C'est la solution de navigation qui tient lieu de base virtuelle. Le schéma ci-dessous résume bien le fonctionnement de cette technique.

■ Les précisions obtenues avec le service de positionnement RTK de Swissat

La précision à deux sigmas près aujourd'hui garantie par Swissat à ses utilisateurs est de :

- 2 centimètres en planimétrie
- 3 à 4 centimètres en altimétrie

■ Pourquoi ce nouveau service de positionnement ?

Le réseau Swissat de 24 stations de référence a vu le jour pour plusieurs raisons.

Tout d'abord, il permet de lutter plus efficacement que les autres techniques de positionnement GPS contre les erreurs engendrées par l'activité ionosphérique. Ensuite l'utilisation conjointe des systèmes GPS et GLONASS améliore la fiabilité et les performances du système de positionnement. Enfin, travailler avec un service de positionnement tel que celui proposé par Swissat permet aux utilisateurs de réduire leurs coûts.

L'activité ionosphérique

L'ionosphère est un milieu dispersif, ionisé par les radiations solaires. Son agitation introduit des biais, de 0 à 50 m, dans les mesures GPS. En effet, de faibles irrégularités, pouvant s'étendre sur quelques mètres voire quelques kilomètres, dans la composition en électrons de l'ionosphère, produisent de la diffraction et de la réfraction sur les signaux GPS. La réfraction change la direction et la vitesse de propagation de l'onde électromagnétique, tout en conservant la phase de l'onde principale. La diffraction, par contre, brouille l'onde électromagnétique, et donne lieu à des fluctuations temporaires sur l'amplitude et la phase du signal au niveau récepteur.

Ces irrégularités se traduisent par la perturbation des signaux GPS et GLONASS de deux manières. D'une part, elles produisent des fluctuations dans l'intensité du signal émis et d'autre part elles provoquent de rapides changements sur le retard engendré par la traversée de l'ionosphère. L'ionosphère entraîne un retard sur les mesures de pseudo-distances et une avance sur les mesures de phase.

Ces oscillations dépendent du cycle solaire. Elles ont été particulièrement importantes de 1989 à 1992. Le nombre et la force de ces fluctuations étaient à leur seuil le plus bas en 1994 et sont demeurés ainsi pendant cinq ans. Depuis 1998, une augmentation de ces effets est constatée.

Il existe plusieurs moyens, suivant le mode opératoire de travail, d'atténuer ce biais. En positionnement absolu, il est possible d'utiliser un modèle ionosphérique. En mode différentiel, sur des bases courtes inférieures à 20 km, on peut considérer que les erreurs ionosphériques sont les mêmes au niveau de la station de base et du mobile. Pour des lignes de base supérieures à 20 km, l'utilisation de récepteurs bifréquences permet d'éliminer l'effet ionosphérique par double différence.

Dans les années à venir, l'activité de l'ionosphère va continuer à s'accroître. Bien que les observations bifréquences puissent être efficacement employées pour calculer des corrections ionosphériques, la détermination des ambiguïtés par une double différence deviendra beaucoup plus compliquée, même pour des bases courtes. Ainsi plus on s'éloignera de la station permanente utilisée pour obtenir les corrections ionosphériques, plus la représentativité du vecteur correction diminuera. Le réseau Swissat permet de palier à ce phénomène. En effet, Swissat détermine à partir des observations des stations permanentes non pas un vecteur, mais une surface de correction. L'utilisation de corrections surfaciques permet de mieux éliminer les biais ionosphériques et de résoudre plus facilement les ambiguïtés.

■ Deux systèmes de satellites (GPS+GLONASS)

L'entreprise Swissat est une des seules au monde à prendre en compte la constellation GLONASS (satellites russes) en plus de celle des GPS (satellites américains). Swissat utilise les signaux émis par ces deux systèmes de satellites.

La constellation GLONASS a longtemps suscité de nombreuses critiques: "trop peu de satellites, les Russes ne respectent pas leur programme de lancement etc.."

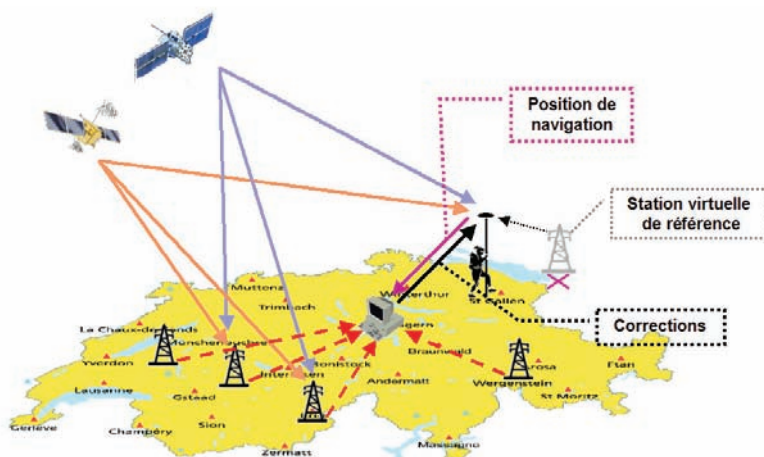


Figure 3 : Principe de la station virtuelle de référence

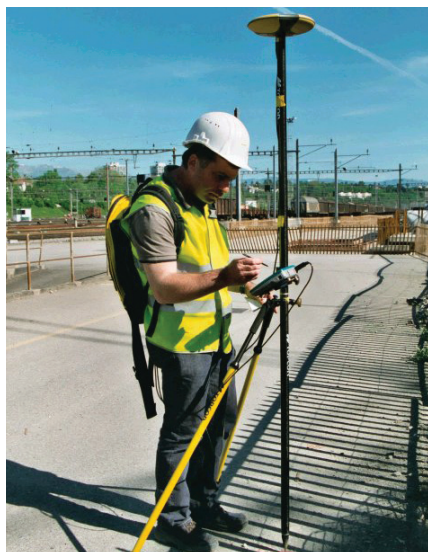


Figure 4 : utilisateur Swissat

Mais aujourd'hui, l'Europe parie sur cette constellation russe. En effet, en janvier 2003, la constellation GLONASS a été intégrée au programme GALILEO, élément qui relance la recherche sur les satellites russes. Ainsi les constructeurs de récepteurs GPS doivent tenir compte lors de l'élaboration de leurs prochains produits non seulement des fréquences réservées aux satellites de la constellation GALILEO, mais aussi des fréquences utilisées par les satellites russes.

La déclaration, au début de l'année, du Ministre français des Sciences, Madame Claudie Haigneré conforte la volonté européenne de renforcer la collaboration avec les Russes pour toutes les actions dans le domaine spatial.

Afin d'établir clairement les différents avantages qu'apporte l'utilisation de la constellation GLONASS en complément

à la constellation GPS, Swissat a mené une étude. Cette dernière a fait l'objet d'une présentation lors du congrès NavSat 2002 et a obtenu le premier prix. NavSat est un des plus importants congrès européens réservé aux techniques de positionnement spatial.

Les conclusions de cette étude comparative sont les suivantes: L'utilisation combinée des constellations russe et américaine assure à l'utilisateur un élargissement de la zone de travail. En effet, avec une constellation contenant plus de satellites, la disponibilité est sensiblement accrue. Ainsi, dans un environnement obstrué (site urbain, zones montagneuses, forêts...) où seuls 3-4 satellites GPS sont reçus, la réception de 5-6 satellites combinés assure une solution de navigation alors que le GPS seul aurait "décroché". Avec un récepteur GPS+GLONASS, il est possible de lever deux fois plus de points en zone urbaine qu'avec un simple récepteur GPS. La couverture des deux systèmes est également complémentaire à toutes les latitudes: les satellites GLONASS couvrent mieux les zones polaires. Enfin, disposer de plus de satellites élargit sur une semaine la fenêtre de travail jusqu'à 30%.

La fenêtre de travail est la durée sur une journée où on peut travailler efficacement avec un récepteur GPS.

Théoriquement, l'observation de quatre satellites GPS permet de déterminer une position 3D. Mais dans la pratique, on constate que pour travailler efficacement il est nécessaire que le récepteur GPS observe au moins six satellites. Nos fenêtres de travail ont donc été cal-

culées en considérant qu'avec moins de six satellites, il est impossible de travailler, d'initialiser le récepteur.

Les schémas suivants comparent les fenêtres de travail avec un récepteur GPS et GLONASS aux fenêtres avec un récepteur uniquement GPS dans différentes situations. Travailler en temps réel avec un service de positionnement tel que Swissat et un récepteur GPS+GLONASS augmente donc la zone de travail et la durée, mais permet aussi de réduire de moitié le temps d'initialisation. Le schéma suivant montre que grâce à la combinaison des deux constellations, le récepteur GPS+GLONASS résout plus vite les ambiguïtés et atteint donc la précision centimétrique plus rapidement qu'un récepteur GPS. Il s'agit de mesures effectuées sur plus de 200 initialisations sous différentes constellations de satellites. Les temps ont été enregistrés depuis la connexion téléphonique avec le centre de calcul jusqu'à la résolution des ambiguïtés du récepteur.

Les avantages apportés par la constellation GLONASS ne sont donc pas négligeables.

■ Un coût réduit pour l'utilisateur

Un réseau tel que Swissat permet à l'utilisateur de travailler avec moins de matériel et de personnel sur le terrain. Lorsque l'on travaille en mode différentiel, deux systèmes de réception GPS sont nécessaires :

- Un récepteur et son antenne utilisés comme base, et servant de référence
- Un récepteur dit mobile

Lorsqu'on utilise le réseau Swissat un ■■■

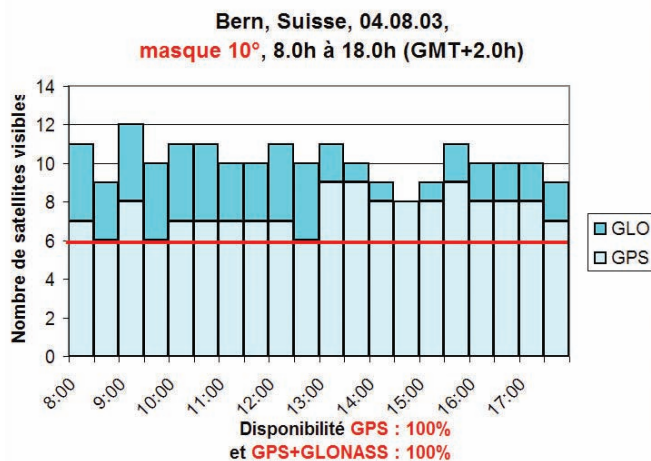


Figure 5 : Comparaison de la fenêtre de travail d'un récepteur GPS et d'un récepteur GPS+GLONASS pour un masque de 10°

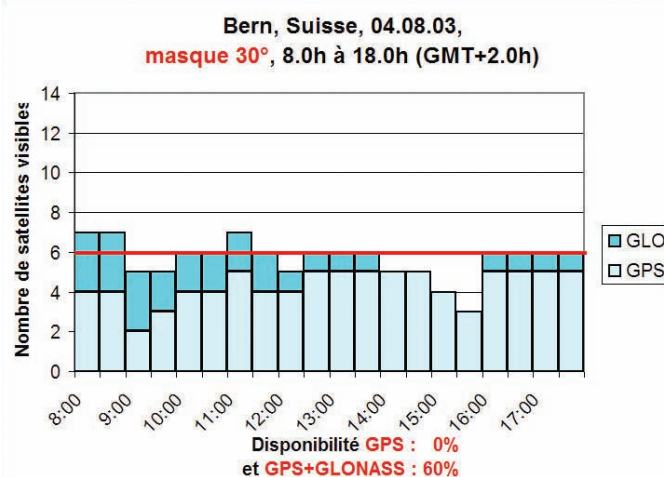


Figure 6 : Comparaison de la fenêtre de travail d'un récepteur GPS et d'un récepteur GPS+GLONASS pour un masque de 30°

■ seul équipement GPS ou GPS/GLO-NASS suffit puisque l'ensemble des stations permanentes du réseau joue le rôle de la station de base. Ainsi utilisé le service proposé par Swissat permet de diminuer les frais d'investissement :

- Achat d'un seul matériel GPS et non de deux.
- Il n'est plus nécessaire de mettre en place ni de surveiller sa station de base puisqu'elle n'existe plus.
- Transport du matériel dans une voiture plus petite.
- L'utilisation du GPS reste rentable même s'il n'y a qu'une dizaine de points à lever.

Que se passe-t-il aujourd'hui en France?

Cette année, les géomètres français ont donné leur accord afin de construire, en France, un réseau de stations permanentes GPS. Cet accord est la preuve du grand dynamisme de l'ordre des géomètres et de leur volonté de travailler avec les techniques de mesure les plus modernes. L'Ordre des Géomètres Experts est chargé de trouver la ou les sociétés qui répondront le mieux à ce besoin. La construction d'un réseau utilisant le principe de la station virtuelle de référence ne se résume pas dans l'achat de récepteurs GNSS bifréquences et d'un logiciel qui calcule des corrections. En effet, pour construire un réseau, il faut, certes, posséder des connaissances en géodésie, mais aussi en télécommunication et en marketing. La réalisation d'un réseau de stations permanentes est un projet ambitieux et

coûteux. Pour qu'il soit rentable, le nombre d'utilisateurs doit être important. Un réseau comme Swissat est destiné aussi bien à des applications de topographie qu'à des applications transdisciplinaires comme la météorologie, la surveillance sismique, la recherche... Les utilisateurs sont nombreux, il est donc intéressant de donner une liste, non exhaustive, de ces derniers:

■ Les géomètres

Pour tous leurs travaux de levé, d'implantation, le service proposé par Swissat leur permet de gagner du temps. D'un point de vue général, toutes les personnes amenées à faire des levés de voies, conduites d'eau, d'électricité, de gaz sont directement intéressées par le service de positionnement RTK proposé Swissat.

■ Les SIG

Depuis plusieurs années, les Systèmes d'Information Géographiques ont connu un essor important. Beaucoup d'administrations, d'entreprises et de collectivités constituent leurs propres bases de données géoréférencées. Ce ne sont pas des spécialistes de la mesure qui les réalisent. Travailler avec Swissat signifie travailler avec un outil simple et précis d'aide à la constitution d'un SIG.

■ La gestion des réseaux en zone urbaine

Les forces de police engagées sur le terrain et appelées à intervenir sur le lieu d'un accident peuvent grâce à un service de positionnement RTK exécuter un levé rapide de la scène de l'accident, afin de dresser leur rapport.

■ Surveillance sismique

Au Japon, la fonction première d'un réseau de 610 stations de référence était la surveillance sismique. Aujourd'hui, ce réseau est ouvert à de nombreuses autres applications. Les réseaux comme Swissat peuvent donc servir à de la surveillance d'ouvrage d'art ou de zones en mouvement (ex: pan de montagne qui glisse).

En misant dès le départ sur un réseau de stations permanentes GNSS, regroupant les observations des satellites GPS + GLONASS, Swissat a conquis de nombreux professionnels de la mesure et continue de bouleverser ce marché en pleine évolution. Les avantages technologiques, techniques et concurrentiels de son réseau placent aujourd'hui Swissat au premier plan.

De plus, ce type de réseau ouvert, convivial, compatible est une vraie solution nationale, puisqu'il offre à tous les utilisateurs la possibilité de travailler dans le même référentiel. Aujourd'hui, plus que jamais, Swissat, avec ce type de réseau, est positionnée pour remporter les grands défis de demain. ●

(1) Global Navigation Satellites System

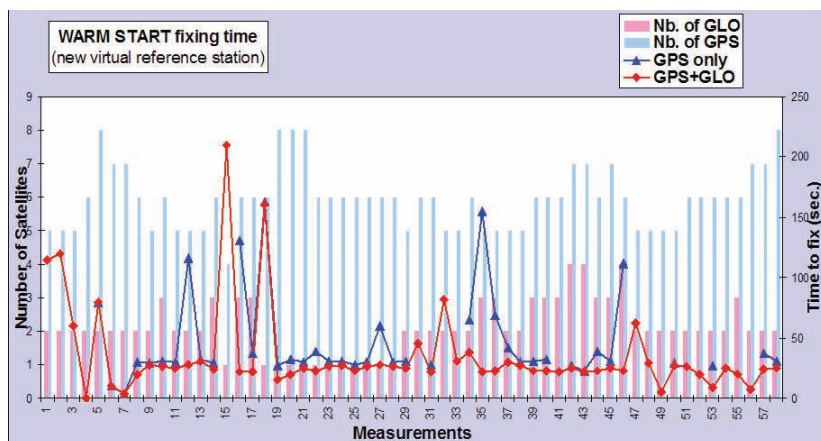


Figure 7 : Temps moyen d'initialisation du récepteur 27" en GPS+GLONASS contre 47" en GPS uniquement.

ABSTRACT

Swissat has established a network of virtual reference stations (VRS) GPS + GLONASS of 24 stations spread all over Switzerland. The combined utilisation of the GPS + GLONASS systems increases the reliability and the performances of the positioning system. It provides the professionals real technical, structural and financial advantages. The guaranteed precision is of 2 centimetres horizontally and of 3-4 centimetres vertically. It represents a real national solution, as all users in the field work with the same reference. When you use the data correction service of Swissat, the investment for the user is halved. Europe relies on the Russian constellation. Indeed, in January 2003, the constellation was integrated with the Galileo programme.

Dans le cadre de la semaine professionnelle de la FIG qui a eu lieu à Paris en avril 2003, Jan de Graeve et André Bailly, responsables de l'IIHSM (International Institution History of Surveying and Measurement) ont organisé le 14 avril un symposium sur l'histoire des géomètres marquant ainsi le 125^e anniversaire de la FIG.

Cinq conférences ont porté sur les sujets suivants :

- Jean MOSSELMANS (Belgique) : La contribution belge à la création de la FIG, il y a 125 ans,
- John BROCK (Australie) : Un plan de ville en 6200 av JC, Catalhoyuk, Turquie,
- Bob LINKE (Australie) : Histoire maritime, relations Franco-Australiennes,
- Suzanne DÉBARBAT et Daniel SCHELSTRAETE (France, AFT) : Apport du méridien et de la méridienne de Paris (1791 - 98) pour la définition du mètre "Mesure révolutionnaire",
- Robert VINCENT (France, AFT) : Paul-Adrien BOURDALOUË (1798 - 1868), premier nivellement de précision d'un grand pays, la France (1857 - 64)¹,
- Jan DE GRAËVE (Belgique) : L'arc géodésique de GW Struve (1860) : une œuvre à préserver en tant que patrimoine mondial par l'UNESCO.

XYZ a voulu célébrer cet événement exceptionnel en publiant l'article de Suzanne DÉBARBAT et Daniel SCHELSTRAETE pour rendre ainsi hommage au grand scientifique de la géodésie J.-J. LEVALLOIS qui souhaitait que le méridien et la méridienne de Paris soient inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO.

André BAILLY.

1 : voir l'article de Robert Vincent dans le N°68 d'XYZ

La méridienne de France

■ Suzanne DÉBARBAT, Astronome à l'Observatoire de Paris

La Méridienne de France représente à la fois un témoin de l'évolution scientifique et d'idéaux de notre Pays, et de la volonté humaine de les faire progresser. Les sites et édifices qui ont été utilisés du Nord au Sud représentent un patrimoine qui déborde largement ce cadre, avec de nombreux sites urbains et ruraux pratiquement inchangés depuis le XVIII^e siècle.

En 1669/1670, Picard (1620-1682) met en place, de part et d'autre de Paris, la première chaîne de triangles amorçant dès cette époque, la Méridienne de France.

Celle-ci s'appuie sur le Méridien de l'Observatoire de Paris dont l'orientation a été fixée par des observations astronomiques menées en dehors de la Ville, au sud, autour du 21 juin 1667 jour du solstice d'été cette année là. L'architecte Claude Perrault s'est vu imposer de construire, pour Louis XIV, un bâtiment symétrique par rapport à ce tracé. Les triangles de Picard s'étendent de Dourdon près d'Amiens à Malvoisine

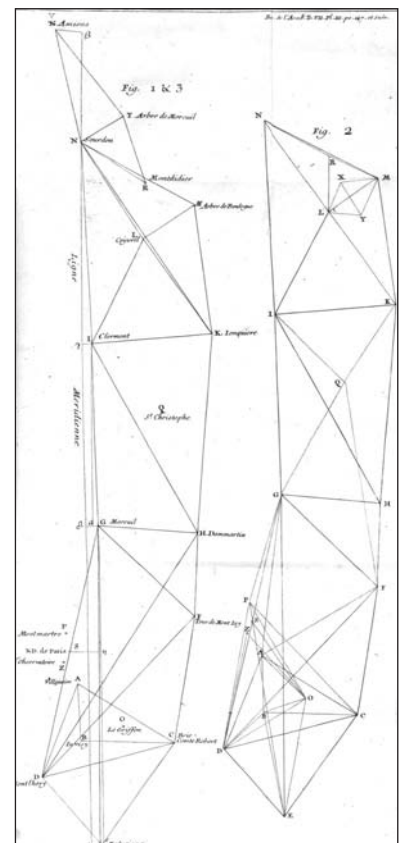
près de la Ferté-Alais. Sa base est mesurée de Villejuif à Juvisy. Une borne a longtemps rappelé sur place cette opération. Elle a depuis été déplacée afin d'être sauvegardée des modifications de son environnement en raison des impératifs de la vie moderne.

Les triangles de Picard

Sur ce document, extrait des publications de l'Académie des sciences, figurent le tracé de l'arc de méridien mesuré en 1669-1670, l'ensemble des triangles qui s'étendent d'Amiens à Malvoisine, la base AB entre Villejuif et Juvisy. Document Observatoire de Paris

MOTS CLES

Borda, borne, cercle, Delambre, Mechain, méridien, méridienne, sentier du méridien de Paris.



Triangulation des Cassini I et II et de Maraldi

Cette carte fournit le tracé complet de l'ensemble des opérations menées, le long de la Méridienne de France, en 1683, puis en 1700-1701, et achevées en 1718.

Document Observatoire de Paris

■■■ Picard forme le projet d'étendre la Méridienne du Nord au sud du Royaume, mais il meurt en octobre 1682 avant d'avoir pu mettre en œuvre ces mesures.

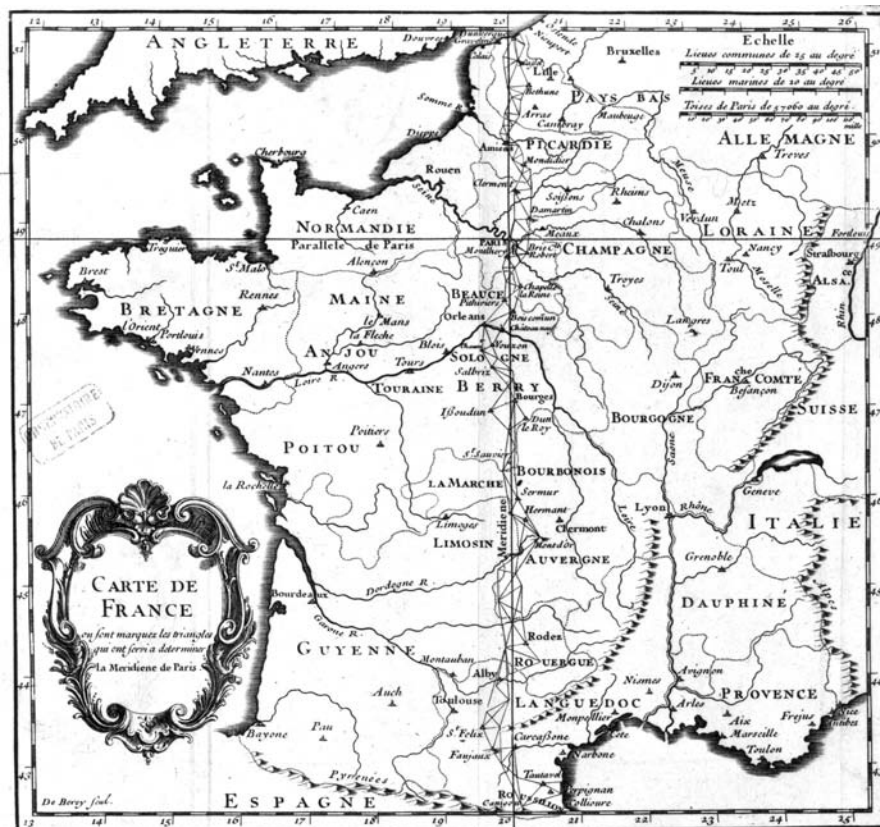
Cassini I (1625-1712) reprend le projet, commence la triangulation et parvient jusqu'à Bourges. La mort de Colbert, en décembre 1683 met un coup d'arrêt à l'opération. Son successeur Louvois ne la considérant pas comme un projet prioritaire.

A la mort de Louvois, son successeur Pontchartrain reprend l'affaire. Serait-ce Bignon (1662-1743), son neveu, qui aurait incité à cette reprise ? Toujours est-il qu'en 1700/1701, Cassini l'accompagné de son épouse, de son fils Jacques (1677-1756), de son neveu Philippe Maraldi (1665-1729) et de quelques aides, reprennent la triangulation où elle avait été arrêtée.

Leur campagne se termine avec la mesure d'une base entre le dernier triangle et celui pour lequel les astronomes visèrent, depuis Perpignan, le sommet du Canigou sur lequel des hommes ont installé un moyen de repérage pour des observations depuis la plaine.

Les guerres du moment ne permettent pas de terminer vers le nord du Royaume, la Méridienne de France qui ne dépasse pas la triangulation de Picard vers Amiens. La mesure complète ne sera achevée qu'en 1718 par Maraldi et Cassini II. Ce dernier publie l'ensemble du travail en 1720. Les Mesures de la Méridienne de l'Observatoire Royal de Paris vérifiées confortent Cassini II dans l'idée, défendue par son père avant sa mort en 1712, que la Terre est allongée vers les Pôles contrairement à ce qu'avait affirmé Newton (1643-1727) dans ses "Principia".

La controverse ne pourra cesser qu'après les mesures de deux arcs de méridiens, l'un en "Laponie", le plus



près possible du Pôle Nord, l'autre au "Pérou", au voisinage de l'Equateur terrestre. Le résultat obtenu en 1737, année de retour de l'expédition au Nord partie en 1736, conduit le fils de Cassini II, César François (1714-1784) à reprendre la Méridienne de France. Il le fait avec La Caille (1713-1762) et en publie les résultats en 1744. En conclusion, et grâce à une instrumentation plus moderne et plus précise, la forme de la Terre se révèle bien conforme aux affirmations de Newton.

Chemin faisant, les Cassini ont défini les points de leurs Méridiennes, qui pour la plupart, ont été intégrés dans les Triangulations successives de leurs successeurs jusqu'à l'Institut Géographique National aujourd'hui.

Quand, peu après la révolution française, se fait jour l'idée d'uniformiser, enfin, les poids et mesures, une discussion intervient pour le choix d'une unité fondamentale devant former les bases d'un système qui devra être décimal.

Ce choix doit porter sur une unité qui soit de caractère le plus universel possible : ce sera la dix millionième partie du quart du méridien terrestre, chaque

pays pouvant, sur son territoire, répéter la mesure. L'unité de longueur, appelée "mètre" sera la référence pour les unités de masse, à l'époque, on dit de poids, le kilogramme correspondant à un décimètre cube d'eau.

Les opérations sur le terrain sont confiées à Delambre (1749-1822) et Méchain (1744-1804) ; ce dernier a participé avec Cassini IV (1748 - 1845) et Legendre (1752-1833), accompagnés de Piazzi (1746-1826), à l'opération de 1787 de raccordement des Méridiens de Paris et de Greenwich dans une coopération entre Français et Britanniques que ces derniers ont célébré en 1987, notamment par une campagne GPS.

A l'occasion de cette triangulation qui va de Dunkerque à Barcelone, d'un niveau de la Mer à un autre, l'appareillage est nouveau : quatre cercles répéteurs de Borda (1733-1799) du constructeur Lenoir (1744-1832), avec lesquels sont effectuées les mesures tant géodésiques qu'astronomiques. Sur le terrain, les opérateurs marquent la Méridienne de France de nouvelles bornes repères, témoignages de leurs opérations et références pour les générations futures.

Triangles de Cassini III au sud de Paris

Il s'agit, pour l'opération menée avec Lacaille en 1739-1740, de la partie qui s'étend jusqu'au "Signal de Culan", en fait, celui qui se trouve à Vesdun, à plusieurs triangles au-delà de Bourges.

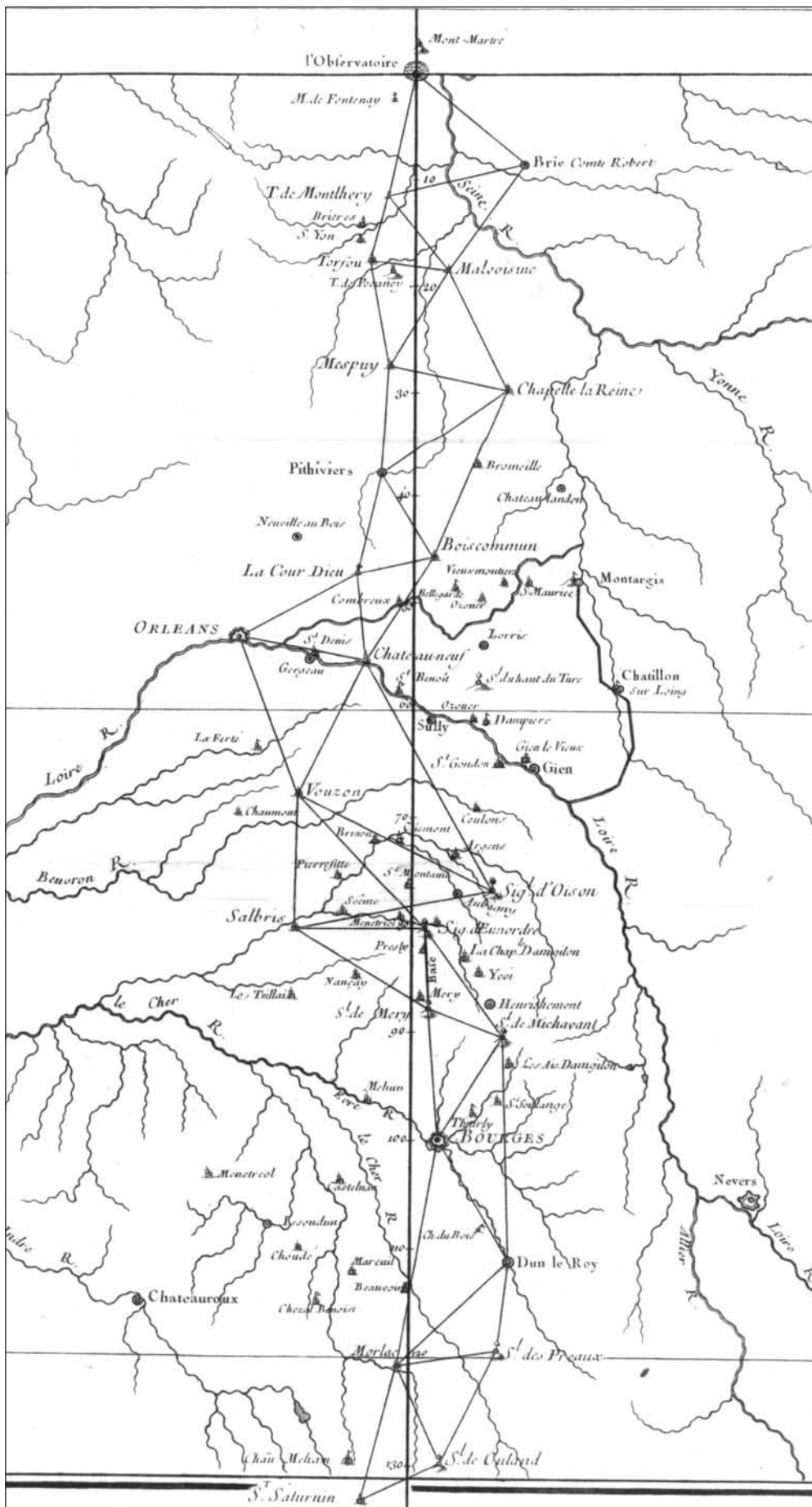
Document Observatoire de Paris

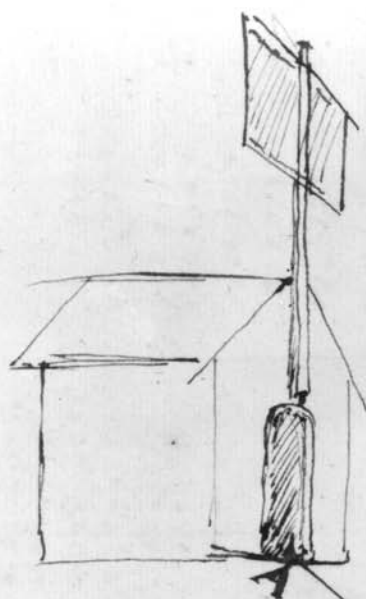
Même si cette opération est la seule qui n'avait pas un but cartographique, elle a servi d'ossature de départ à la triangulation dite des Ingénieurs Géographes (1802-1871) qui pour la première fois a fait l'objet d'un bornage systématique des points et a été parfaitement documentée, puis à toutes les triangulations entreprises chaque fois que la précision devenait insuffisante en regard des améliorations techniques et scientifiques dans les domaines des mesures et de la connaissance physique de la Terre.

La Méridienne de France représente donc à la fois un témoin de l'évolution scientifique et d'idéaux de notre Pays, et de la volonté humaine de les faire progresser. Les sites et édifices qui ont été utilisés du Nord au Sud représentent un patrimoine qui déborde largement ce cadre, avec de nombreux sites urbains et ruraux pratiquement inchangés depuis le XVIII^e siècle.

C'est elle qui a été choisie en 2000 pour commémorer le passage de notre Pays au 3^e Millénaire, avec la "Méridienne verte" mise en œuvre par la "Mission 2000". C'était un projet plus festif que culturel développé par l'architecte Chemetov autour d'un pique-nique clôturant une action peut-être aussi spectaculaire qu'éphémère. Aujourd'hui, des arbres, des panneaux et des repères ont été mis en place de Dunkerque à Praz de Mollo, dont certains sont intégrés dans des jardins publics, et d'autres s'embroussaillent.

Dans des soucis de pérennisation, quelques personnes avaient symboliquement réagi avec le concours de l'AFT et de l'IGN, avec une reconstitution historique de mesures de Delambre et Méchain au centre de la France, et en initiant une exploration des points de leur triangulation, et la reconnaissance d'un "sentier du Méridien". A terme, il devrait





à Montserrat
position du réverbère dirigé vers l'éclat,
relativement à la verticale du centre de la Station



La distance AB du centre du Réverbère au point où
tomboit le fil à plomb du montant du parallélogramme
était de un pied onze lignes très exactement mesurée
= 0,17972

■ ■ ■ permettre de retrouver, tout le long d'un parcours historique et culturel de Dunkerque à Barcelone, les traces non seulement de nos mesureurs de la Terre, mais aussi tout simplement du patrimoine de notre pays.

En 1994, la commission histoire de l'astronomie a soumis à l'Union Astronomique Internationale une résolution adoptée par l'Assemblée Générale de cette Union, pour la conservation des témoignages de l'opération de triangulation de l'Arc le plus long (25°), mesuré de la Baltique à la Mer Noire, dans la réalisation d'un projet dont les débuts remonte à Delisle (1688-1768) invité par Pierre le Grand à venir établir un Observatoire dans la Ville nouvelle de Saint-Petersbourg. La triangulation ne fût réalisée qu'au XIX^e siècle dans une coopération mettant en jeu différents pays de l'Europe centrale.

D'une manière analogue, l'AFT sollicite le soutien du présent Congrès pour déposer, auprès des Autorités compétentes, une demande de classement à l'Inventaire supplémentaire des Monuments Historiques, des bornes existantes des

opérations de la Méridienne de France des Cassini à Delambre et Méchain.

Dans le cas de l'opération menée par ces deux derniers, il s'agit de conserver des témoignages du tracé de ce qui concerne la référence cartographique des opérations menées par l'IGN sur le territoire métropolitain.

C'est aussi le tracé de ce qui est à l'origine de la détermination de la longueur du Mètre devenu en 1960, la base du système d'unités "le SI". Et même si la réalisation actuelle du mètre n'est plus fondée sur la mesure d'un tel arc, elle demeure compatible, dans la limite des erreurs, avec la longueur du mètre tiré, en 1799, des mesures de la Méridienne de France.

Quant au "sentier du Méridien", il se propose de permettre à tous ceux qui seront conduits à le parcourir, par parties comme dans son ensemble, non seulement de visiter les éléments historiques qui le jalonnent, mais aussi de rendre un hommage aux travaux de ceux qui, il y a deux siècles, ont donné à tous les hommes, à tous les temps, un système d'unités décimal et universel.

Un signal de la triangulation de Delambre et Méchain

Ce signal, installé à Montserrat, se trouvait dans la partie de l'opération, menée de 1792 à 1798 de Dunkerque à Barcelonne, confiée à Méchain.

Document Observatoire de Paris

*METRE : du latin METRUM (mesure)

Bibliographie :

JJ LEVALLOIS : *Mesurer la Terre - 300 ans de géodésie française* (AFT - 1989)

AM MOTAIS de NARBONNE,

J ALEXANDRE : *Une mesure révolutionnaire ; le mètre*

(Observatoire de Paris - 1988)

JJ LEVALLOIS : *La méridienne de Dunkerque à Barcelone et la détermination du mètre "La lettre de l'esprit"* (AFT XYZ N° 46 - 1991).

Un sentier pour la Méridienne de France

■ Daniel SCHELSTRAETE (IGN)

Toutes les mesures sur la Méridienne de France exposées par Suzanne Débarbat ont été l'épine dorsale de 300 ans de Géodésie et de Cartographie Française et ont même abordé un niveau Mondial au XVIII^e siècle pour la recherche de la forme de la Terre puis la création du système métrique universel.

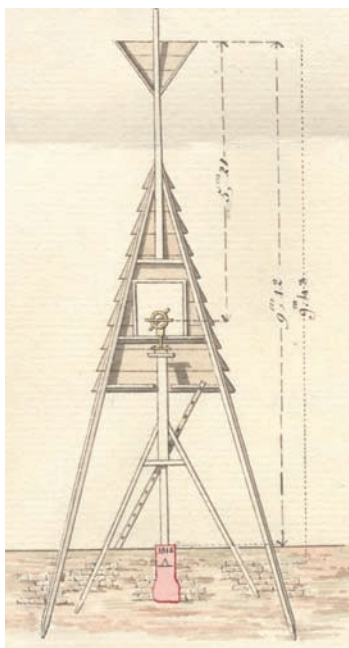


Cette Méridienne a gardé sa fonction jusqu'à l'avènement des techniques spatiales entraînant une nouvelle approche globale et automatisée des mesures de la Terre : GPS aujourd'hui et Galileo demain.

Pour nous Français, la réutilisation permanente des sites depuis les géographes du Roi jusqu'à L'IGN, a permis de constituer un patrimoine culturel débordant largement des aspects cartographiques.

Des équipes qui effectuent la reconnaissance d'un sentier pédestre depuis l'an 2000 ont découvert des aspects parfois surprenants et inchangés par rapport aux descriptions des géographes : par exemple la redécouverte en 2000 sur le site de Laage à l'ouest de Montluçon, de pierres calées entre des blocs rocheux par Cassini en 1740 et déjà décrites par Delambre lors de son passage en 1796. Un archéologue présent a remarqué que l'on était sur un site de sacrifice préhistorique inconnu et probablement important.

Pratiquement tous les sites de la Méridienne, de Dunkerque à Praz de Mollo en France et Barcelone en Espagne présentent un intérêt historique, agricole,



Projet du sentier du Méridien de Paris

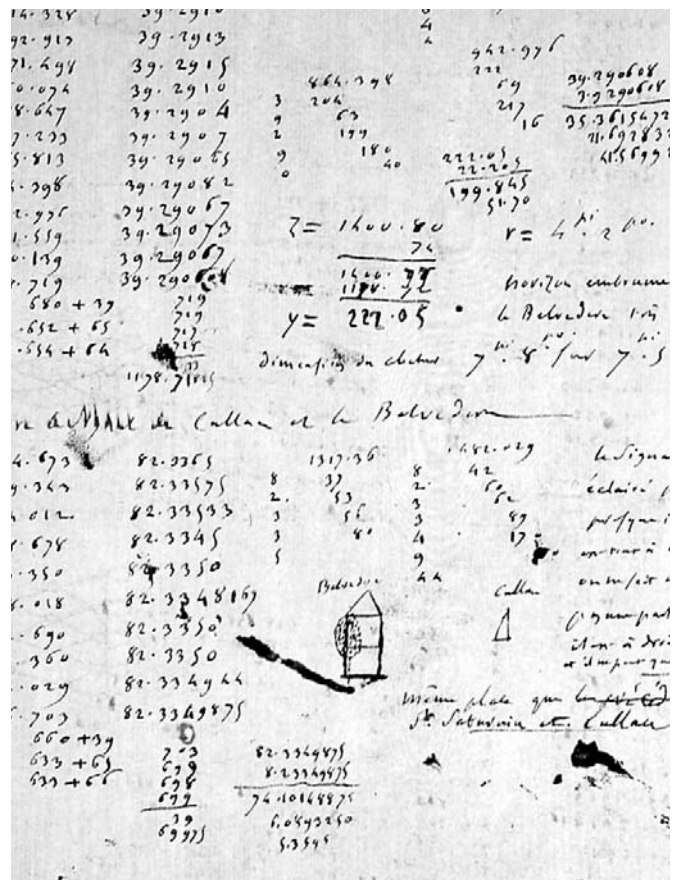
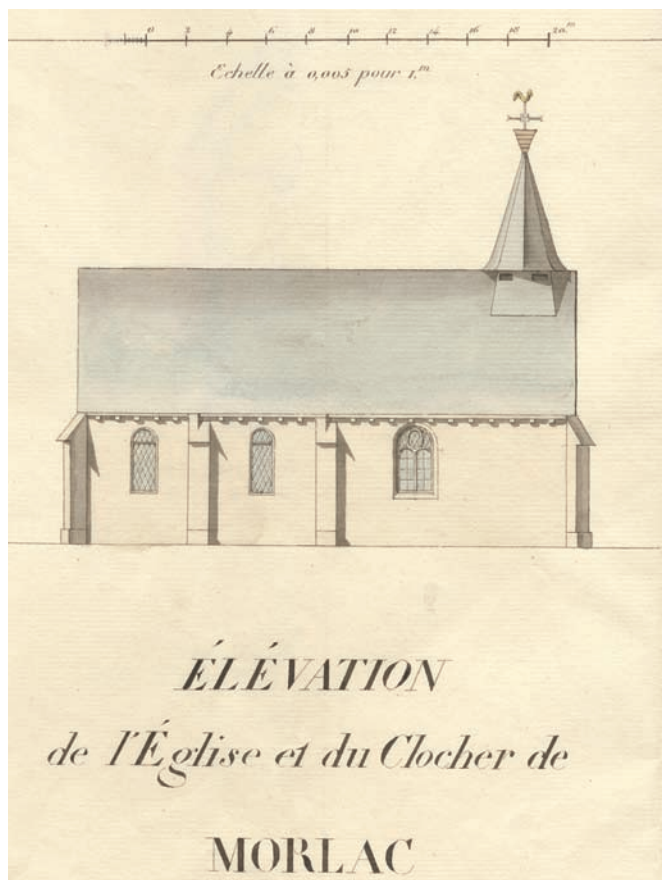
Le premier travail consistera en la reconnaissance des points géodésiques implantés et visés par DELAMBRE et MECHAIN et d'en effectuer un relevé environnemental suivant un formulaire descriptif.

Puis, ce travail effectué et centralisé, la recherche d'un chemin pédestre le long de la ligne fictive du Méridien, devra être entreprise sur le terrain, en tenant compte de tous les aspects géographiques, culturels et locaux liés à l'histoire de la Méridienne, musées, curiosités, signaux géodésiques, etc....

La phase suivante consistera à lister cet ensemble de centres d'intérêts le long d'un sentier continu de DUNKERQUE à PRAZ DE MOLLO avec, bien entendu, étapes gastronomiques et gîtes d'étapes.

La phase finale sera la publication d'un guide historique et l'implantation du sentier pédestre, que nous appellerons "Sentier du Méridien de Paris", qui traversera toute la France du Nord au Sud, tout au long de cette ligne fictive.

Extrait de la documentation remise aux équipes de reconnaissance par Jean-Michel Autissier en octobre 2001

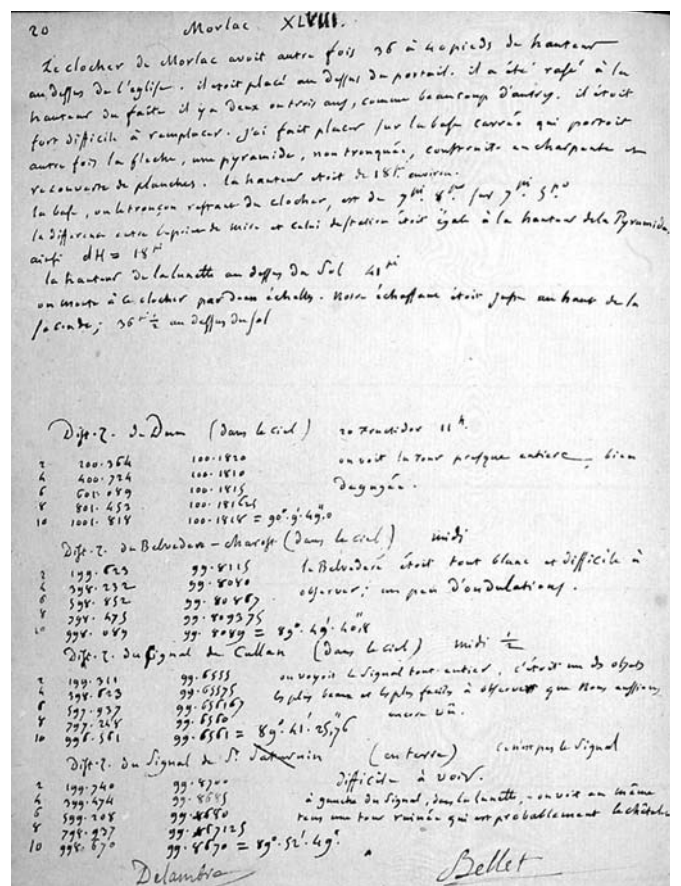


Extraits de cahiers de Delambre 1796 (documents Observatoire de Paris), et aquarelles des Ingénieurs géographes de 1820 (documents IGN)

paysager, humain en plus de leur intérêt géodésique, et régulièrement, des marcheurs et cyclistes la parcourent, même parfois de manière un peu initiatique. D'où l'idée d'associer à la demande de classement du Méridien de Paris par l'AFT, un projet de mise en valeur des sites géodésiques eux-mêmes, avec la réalisation d'un sentier pédestre dans un premier temps et éventuellement un autre cyclable les reliant.



La reconnaissance du sentier pédestre est largement avancée. L'équipe qui a réalisé ce travail propose sa finalisation dans le cadre des aménagements touristiques et culturels au niveau des responsables locaux, et des conseils généraux.

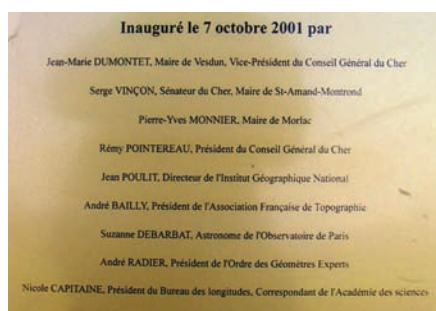


Un travail préparatoire a déjà été largement engagé par un groupe de bénévoles avec les soutiens de l'AFT et de l'IGN



Un signal à Vesdun au centre de la France

Pour le 14 juillet 2000, symboliquement, un signal a été reconstruit sur le modèle de ceux de Delambre sur le site de RIPOLLE, près du centre de la France, dans la commune de Vesdun (département du Cher), et une reconstitution historique a été réalisée.



Un monument à Morlac au milieu du méridien de Paris



Le 7 octobre 2000, un monument à la gloire de la Géodésie française construit par l'IGN et l'ONF au milieu de la partie française du Méridien de Paris dans la commune de Morlac, a été inauguré par le Maire en présence des autorités départementales, et de personnalités de l'Observatoire de Paris, de l'Académie des Sciences, et du Bureau des Longitudes.



■ ■ ■ Un sentier de Dunkerque à Prats de Mollo

Le 7 octobre 2001, un groupe de marcheurs inaugurerait le tronçon du sentier reliant ce monument au signal de Vesdun situé à 12km

En avril 2003, les 4/5 du sentier pédestre sont reconnus par le groupe de bénévoles et il devient nécessaire aujourd'hui que les organismes et associations concernées par ce projet adoptent le principe de sa réalisation et définissent l'envergure qu'il est souhaitable de lui donner pour que sa mise en œuvre puisse être amorcée.



Ces actions sont les premières engagées pour la Méridienne de France. L'AFT propose de les poursuivre en y associant les autorités, organismes et associations locales ou nationales concernées car c'est le seul moyen d'envisager à la fois la réalisation et la pérennité de ces projets, pouvant permettre l'utilisation et l'entretien de ce patrimoine lié à la Méridienne de France.



Carte routière et administratives Cher (18) - extrait de la carte IGN 1/125 000°

Quatre exigences fondamentales

■ François BODIN Président de GSF

Les courriers, tant classiques qu'électroniques, reçus par G.S.F. concernent d'une part les demandes d'aides et d'autre part les propositions de service. Le bureau de l'association s'efforce de répondre à chaque demande et décide d'y donner suite dans le cadre de la charte et des statuts, en fonction des moyens matériels dont l'association dispose et de la disponibilité des bénévoles. Depuis bientôt 15 ans que l'association existe, 4 exigences se sont fait jour que je souhaite exposer dans le cadre de XYZ, lien sympathique avec de nombreux membres réels (... ou potentiels !) afin que tous sachent dans quel esprit nous œuvrons.

Les demandes reçues sont de deux types : demandes individuelles (bourses ou subventions majoritairement) ou demandes collectives (travaux ou formation).

Il est, en principe, répondu négativement aux demandes d'aides individuelles à l'exception de certaines particulièrement sérieuses ou dont l'aspect critique est réel et contrôlé : complément de formation en France d'un Burkinabe ayant eu pour professeur un membre du bureau, poursuite d'études d'un Béninois devenu orphelin en cours de scolarité, etc. La première exigence qui s'impose au bureau consiste à s'entourer du maximum de garanties quant au sérieux de ces demandes dont 90 % émanent de quémendeurs "professionnels"...

La seconde exigence concerne les demandes collectives de travaux ou d'intervention, qui deviennent beaucoup moins nombreuses du fait de la facilité d'utilisation du matériel topographique actuel. L'association s'assure que ces travaux ne dépendent pas du domaine concurrentiel, ou qu'ils émanent d'une collectivité, groupement ou association locale ou française à très petit budget ou fonctionnant avec des bénévoles.

Il n'est absolument pas envisageable que nous réalisions des travaux qui ont vocation à être réalisés par des entreprises du secteur concurrentiel et de ce fait les actions de formation deviennent prédominantes.

Une saine gestion des fonds qui nous sont confiés par les adhérents et donateurs inspire directement, et sans surprise, ces deux premières exigences.

Parmi les courriers de proposition de service reçus par GSF nous séparons tout de suite les demandes d'emploi ou de stage rémunéré qui n'entrent pas dans le champ d'action de l'association pour ne conserver au fichier que les propositions de bénévoles.

Au gré des missions nous avons alors réalisé, comme de nombreuses autres associations, que la bonne volonté n'était pas tout ; nous devons en effet aux demandeurs un travail de qualité, et ce n'est pas parce qu'il n'est pas rémunéré qu'il peut être bâclé ou mal réalisé.

Est ainsi apparue une exigence de compétence que nous pensions ne pas avoir à vérifier puisque les professionnels de la géométrie et de la topographie sont quand même peu nombreux ; il s'avère en fait que l'évolution des techniques et des besoins à satisfaire (conception derrière la topographie, SIG...)



renvoie à des nouvelles compétences et expériences professionnelles indispensables que nous nous devons de garantir à ceux qui s'adressent en toute confiance à GSF.

D'où la nécessité des curriculum vitae demandés par l'association, parfois l'accompagnement d'étudiants par des professionnels ou la réflexion que nous devons avoir sur nos méthodes : si une demi-journée de formation sur les nouveaux petits GPS suffit pour les travaux qui nous sont demandés, il n'est pas judicieux d'aller plusieurs fois effectuer lesdits travaux mais bien préférable de former sur place 2 ou 3 personnes... au risque de ne pas satisfaire notre orgueil !

Enfin lorsque l'association répond à une demande d'intervention, il est prévu que le demandeur se charge du logement et de la nourriture des bénévoles de GSF, des déplacements en cas de besoin. À l'exception de missions longues de plusieurs années aucune indemnité financière n'est prévue pour les bénévoles qui s'enrichissent de l'expérience acquise et des échanges, de l'aide qu'ils apportent ; il convient de garder tout son sens au terme de bénévole et le bureau ne peut donc accepter d'envoyer en mission des personnes qui seraient par ailleurs des coureurs de subventions visant à leur garantir une sorte de salaire annexe.

Cette exigence d'honnêteté morale à l'endroit des "accordeurs de subventions" extérieurs nous a fait remanier le protocole que nous signons avec les volontaires de GSF.

Besoin réel des demandeurs, non-concurrence avec le secteur marchand, compétence et altruisme réel des bénévoles constituent 4 nouveaux points que le bureau vérifie dans le cadre de la confiance que les membres et donateurs font à Géomètres Sans Frontières.

Actuellement à Madagascar se déroule une mission qui tente de concilier tous ces impératifs : elle est assurée par 4 élèves de l'ESGT membres de ESGT-International, toute nouvelle structure associative de l'école, avec le concours d'un bénévole de GSF. Ils doivent réaliser des relevés préparatoires à des études de desserte en eau de villages. Ces jeunes se sont insérés dans une mission beaucoup plus vaste mise en œuvre depuis de nombreuses années par l'association IDEES dépendant d'une école d'ingénieurs de Paris, ESME-SUDRIA.

Cette mission constitue un cadre nouveau à nos activités dont la revue devrait rendre compte dans l'année à venir soit sous la plume de GSF soit sous celle de ESGT-International, soit sous une signature conjointe...

Echanges d'étudiants français et béninois, participation totalement bénévole à des missions plus vastes, la topographie devient un outil de rencontres et d'échanges au service des hommes, tant bénévoles qu'accueillants. Ce programme est plus alléchant que la simple fourniture d'un beau plan ; il impose cependant rigueur et honnêteté que le bureau de l'association s'efforce de garantir. ●

La fontaine d'Agam : l'

■ Jean-Pierre MAILLARD

La Défense c'est d'abord une statue qui a servi de point de mire au développement de l'ouest de Paris et Neuilly sur le territoire des communes de Courbevoie et Puteaux.

L'œuvre de Louis-Ernest Barrios rend hommage aux combattants du siège de la capitale en 1870. Inaugurée le 12 août 1883 elle est toujours à la même place même si aujourd'hui elle est portée par une colonne de dix mètres pour atteindre le niveau du parvis et signifier son centre.

L'opération d'intérêt national

La Défense est surtout un quartier d'affaires de dimension internationale couvert de gratte-ciel remarquables. Sa vaste esplanade sur dalle, la séparation des circulations piétonne et automobile sont des applications

notables, entre autres, des principes de la charte d'Athènes chère à Le Corbusier.

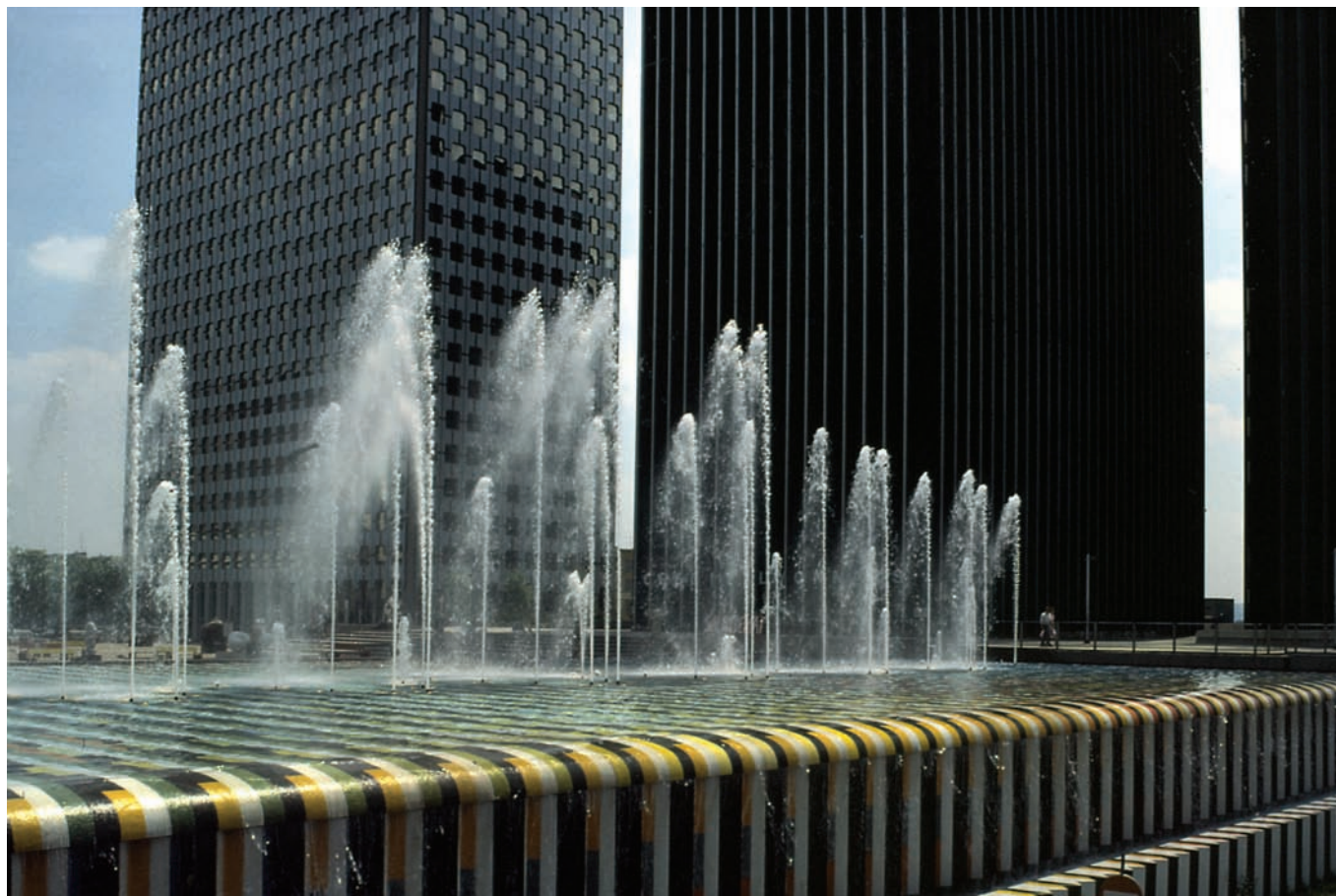
Née de la volonté de l'État, l'opération d'urbanisme a été lancée en 1958 sur l'axe historique de Paris. Ce dernier aboutit désormais à la Grande Arche, monument de prestige joyau des immeubles de la troisième généra-

tion, et véritable clef de voûte de l'ensemble architectural.

Le soin apporté à la réalisation des tours et la qualité des matériaux en font de réelles œuvres d'art.

Si l'approche esthétique est bien visible dans l'architecture, la mise en œuvre de la politique culturelle de l'Établissement public d'aménagement de la Défense (EPAD) en charge du projet et de sa réalisation, a rendu tout autant l'expression artistique omniprésente dans l'ensemble bâti.

Ainsi le quartier des affaires est devenu un musée à ciel ouvert où les plus grands créateurs ont pu mesurer leur talent au gigantisme des lieux : Calder, Miro, César, pour citer les plus prestigieux.



harmonie chromatique

La fontaine monumentale d'Agam

Au-delà du plaisir de reconnaître, au premier coup d'œil, l'œuvre de tel ou tel, le regard et l'oreille sont plus particulièrement attirés par la fontaine d'Agam moins connu du public français.

Au centre de l'esplanade, sous le regard de la statue de Barrios, la présence et le bruit de l'eau amplifiés par l'explosion des couleurs des émaux retiennent plus encore l'attention. La fontaine se présente sous la forme d'un bassin rectangulaire de 26 m x 86 m ouvert sur un déversoir où l'eau chute de plusieurs mètres le long d'une paroi verticale également traitée.

La combinaison des couleurs (quatre-vingt-six tons spécialement fabriqués à Venise) s'inscrit dans une multitude de rectangles et de lignes parallèles. On perçoit immédiatement la dimension musicale du projet. Les couleurs sont ordonnées selon un rythme, selon une grammaire visuelle et artistique propre au créateur. On peut y voir un clavier de piano ou d'accordéon, cette dernière impression étant confortée par la présentation en soufflet du pied du déversoir.

Le dispositif est complété d'un ensemble de soixante-dix jets d'eau retombant de quinze mètres qui, commandés électroniquement, peuvent aussi accompagner un programme musical.

Dans son approche, Agam a pris en compte que l'eau modifie la lumière et, réciproquement que la lumière modifie les nuances de l'eau. Il va jusqu'à considérer l'animation du liquide comme plus importante puisque, constate-t-il, l'on ne peut pas arrêter l'eau qui coule, sorte de "feu d'artifice" permanent.

Fruit d'une commande publique, elle a été réalisée entre 1975 et 1977 par une vingtaine d'entreprises sachant que son insertion dans l'environnement a fait l'objet d'une concertation avec les urbanistes de l'EPAD.



photothèque EPAD

Agam

Yaacov Agam est né en 1928 en Palestine, aujourd'hui en Israël. Les études le conduisent à Zurich en 1949 puis à Paris en 1951.

La préoccupation mathématique ne s'est pas imposée dans sa formation et pourtant il met en pratique depuis des décennies le constat d'Apollinaire qui affirme *"la géométrie est à l'art plastique ce que la grammaire est à l'écriture"*

Sa première exposition a lieu en 1953 à la galerie Craven à Paris. Il y présente des tableaux "transformables" qui proposent au spectateur une interactivité en l'invitant à déplacer des éléments mobiles fichés sur les différents panneaux et à varier les angles de vue.

Ensuite il devient un acteur de l'exposition "le Mouvement" d'avril 1955, à la galerie Denise René à Paris, exposition fondatrice de l'art cinétique promu par Victor Vasarely. Avec lui il obtient la consécration en 1965 à New York à l'occasion de l'exposition "The Responsive eye" organisée par le Museum of modern art de New York (MoMA) et qui actera la naissance de l'op'art. À cet égard, Agam se reconnaît mieux dans l'op'art, car il attache plus d'importance au temps qu'au mouvement.

Les œuvres d'Agam intègrent régulièrement la troisième dimension. Les reliefs réguliers qui strient les tableaux sont peints de telle façon qu'ils apparaissent changeant selon qu'on les regarde de face, du côté gauche ou du côté droit. Cette trace de surréalisme a été reconnue très tôt par les fondateurs de ce moment en particulier par André Breton.

Depuis, créateur reconnu, il a joué ses partitions picturales à travers le monde, notamment la Fire Water Fountain de Tel Aviv et le salon de l'Élysée commandée par le Président Pompidou, aujourd'hui au Centre Beaubourg, ou l'hôtel Mondrian à Los Angeles.

Franck Popper souligne que depuis cinquante ans Agam travaille à intégrer le temps, la quatrième dimension, à l'expression artistique. L'exposition organisée cet été à Paris par la galerie Denise René intitulée "L'orchestration visuelle" se veut une nouvelle illustration de la recherche de l'artiste.

Quoi qu'il en soit, le temps ne semble pas avoir prise sur Agam. Sûr d'avoir trouvé son tempo il utilise triangle, carré, rectangle, trapèze et cercle pour donner une résonance intérieure à ses travaux. Fort de sa réussite il répète à l'envi son savoir faire. A quand une nouvelle dimension à son art ? ●