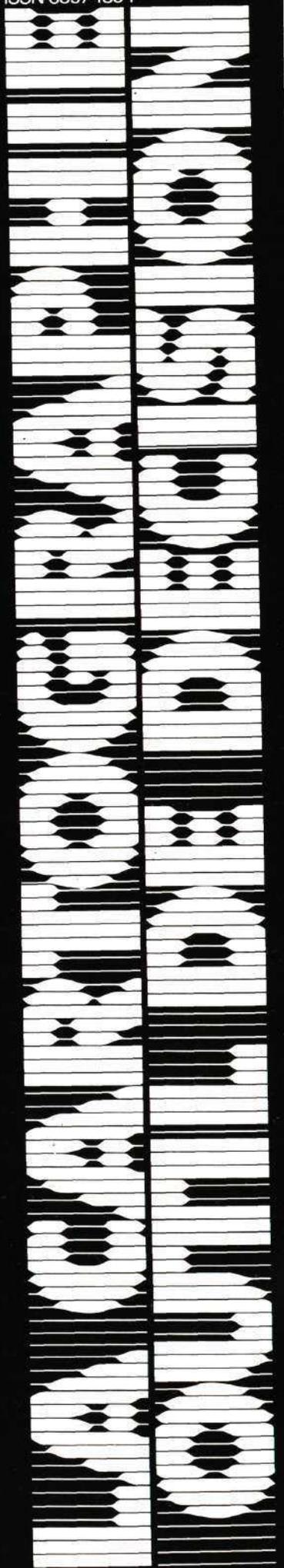
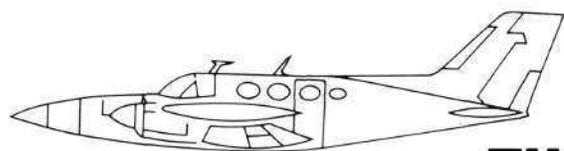


# PEM

ISSN 03974834



IN Z TELEKENT 77 77 INNT



# SASTEC

## L'AUTRE NOM DE LA THERMOGRAPHIE AÉRIENNE

### TÉLÉDÉTECTION INFRAROUGE APPLIQUÉE

- économies d'énergie
- pollution, environnement
- géotechnique et hydrologie
  
- surveillance agricole et forestière

Moyens aériens (scanner embarqué)

Examens au sol (caméras portables)

A la qualité de l'image, s'ajoute la compétence technique et la connaissance des paramètres locaux des ingénieurs techniciens du groupe **SOCOTEC**.

**SASTEC**, filiale de **SOCOTEC INDUSTRIE** bénéficie du réseau de 125 implantations en France et à l'étranger et de l'assistance de 2 300 collaborateurs de **SOCOTEC**.



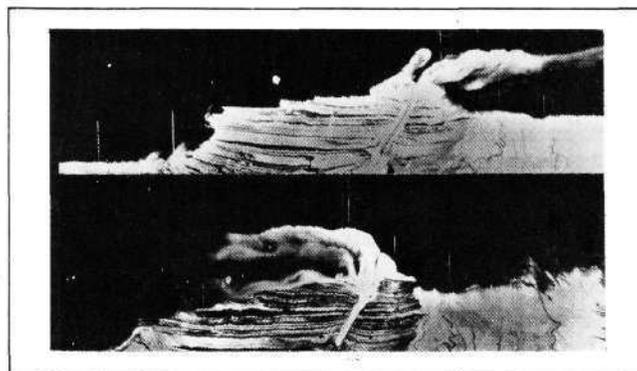
**SASTEC**

Société d'application  
de systèmes techniques

"Les Quadrants" - 3, avenue du Centre  
78182 SAINT-QUENTIN-EN-YVELINES  
Tél. : (3) 043.99.13 - Télex 698.684 F



*Surveillance de la qualité des isolations thermiques d'un ensemble d'ateliers.*



*Évolution d'un rejet d'eau chaude de centrale électrique suivant la marée.*

GRUPE



**SOCOTEC INDUSTRIE**

Siège : Tour Montparnasse  
33, avenue du Maine  
75755 PARIS CEDEX 15

mensuel

28, rue des Saints-Pères  
Paris-7<sup>e</sup>

Dépôt légal 1<sup>er</sup> trimestre 1982  
N° 82.054  
Commission Paritaire N° 55.306

# sommaire

## Directeur de la publication :

Yves BOISSERINQ  
Président de l'Association

## Administrateur délégué :

Philippe AUSSOURD  
Ingénieur  
des Ponts et Chaussées

## Rédacteurs en chef :

Olivier HALPERN  
Ingénieur  
des Ponts et Chaussées  
Benoît WEYMULLER  
Ingénieur  
des Ponts et Chaussées

## Secrétaire générale de rédaction :

Brigitte LEFEBVRE du PREY

## Assistante de rédaction :

Eliane de DROUAS

## Rédaction - Promotion

### Administration :

28, rue des Saints-Pères  
Paris-7<sup>e</sup> - 260.25.33

**Bulletin de l'Association Nationale des  
Ingénieurs des Ponts et Chaussées, avec la  
collaboration de l'Association des Anciens  
Élèves de l'École des Ponts et Chaussées.**

## Abonnements :

- France **200 F.**
- Etranger **200 F** (frais de port en sus).
- Prix du numéro ; **22 F**

## Publicité :

Responsable de la publicité :  
H. BRAMI

Société OFERSOP :  
8, Bd Montmartre  
75009 Paris  
Tél. 824.93.39



## dossier

Préface Roger QUILLIOT .....	13
Carte de visite de l'IGN .....	14
Évolution technique de l'IGN par J.A. WINGHART .....	15
Une cartographie pour les collectivités locales par H. DUBEDOUT .....	18
L'IGN et la D.D.E par A. VILLARET .....	20
La télédétection par P. FOIN .....	24
Énergie et environnement par J.C. LUMMAUX et S. SOUDOPLATOFF .....	29
Travaux de télédétection par A. LACOMME-LAHOURETTE	33
Le programme SPOT par A. BAUDOIN .....	38
La géodésie par C. BOUCHER .....	48
La géodésie appliquée au Génie civil et à l'industrie par J. DUCLOUX .....	52
Informatique et cartographie par J. DENEGRE et P. FOIN .....	55
Statistique et cartographie thématique par B. PASQUIER .....	63
Documents graphiques par R. CUENIN .....	65
Étude d'un site par Ph. GIRAUDIN .....	67
Surveillance d'ouvrage d'art par P. CORRE .....	71
L'IGN à l'étranger par H. HOVASSE .....	73
La politique de formation à l'IGN par M. CARBONNELL .....	75

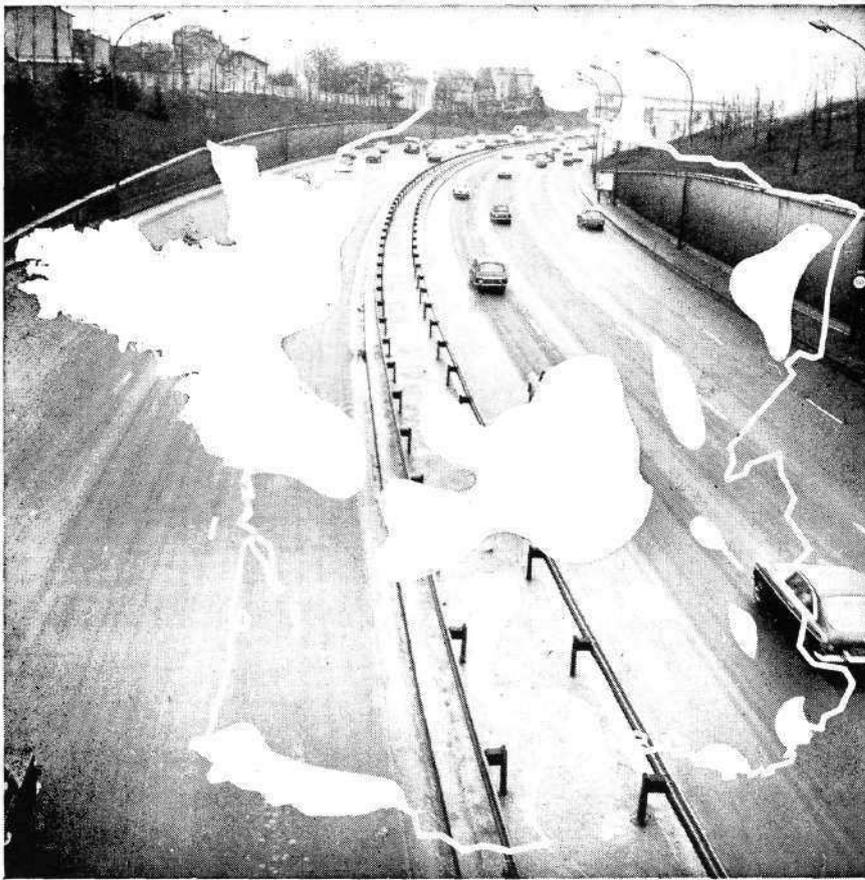
## Couverture:

I.G.N.

L'Association Nationale des Ingénieurs des Ponts et Chaussées n'est pas responsable des opinions émises dans les conférences qu'elle organise ou dans les articles qu'elle publie.

IMPRIMERIE MODERNE  
U.S.H.A.  
Aurillac

Maquette : Monique CARALLI



**partout en France  
la qualité  
c'est notre affaire**

GETTON MAJESTINE PHOTOS G.A.

SYNDICAT NATIONAL DES  
**PRODUCTEURS DE MATERIAUX D'ORIGINE ERUPTIVE,  
CRISTALLOPHYLLIENNE ET ASSIMILES**

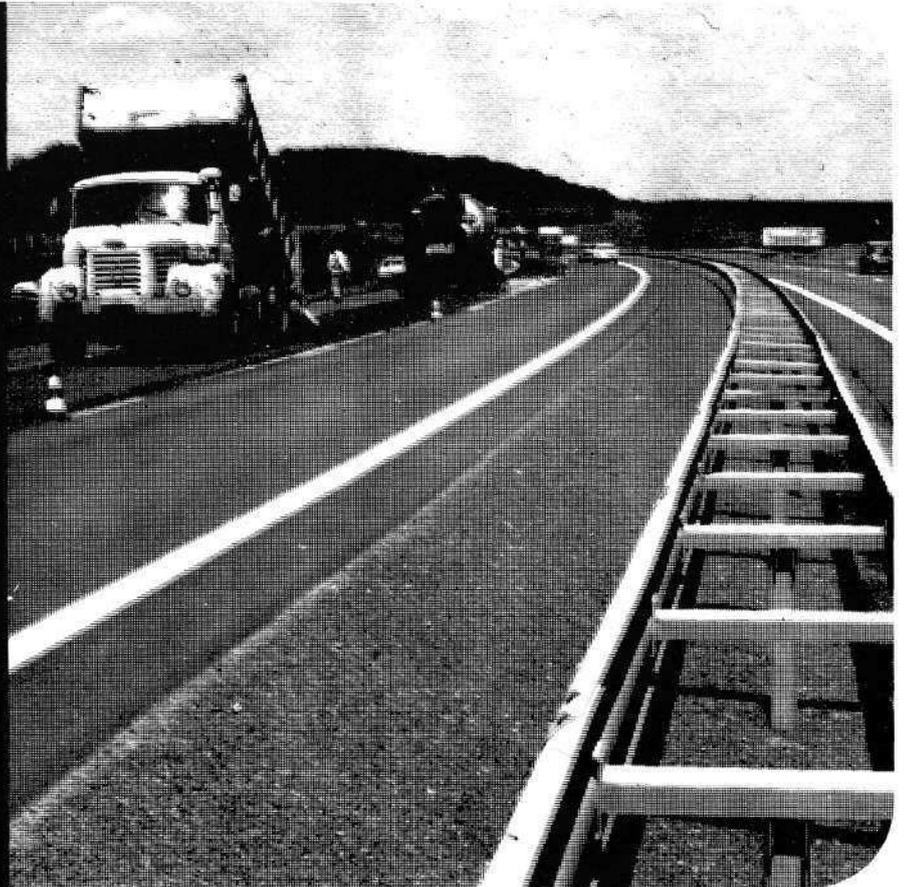
3, rue Alfred-Roll - 75849 PARIS CEDEX 17  
Tél. : 766.03.64

Un tiers du sol national recèle des gisements de valeur.

**actiflex**  
émulsion  
aux élastomères

**SCR**  
CHIMIQUE DE LA ROUTE

5 avenue morane saulnier 78141  
Velizy Villacoublay CEDEX  
boite postale n°21 téléphone 946 96 60



# BOURDIN & CHAUSSE

**ROUTES  
AUTOROUTES  
VOIRIE  
RÉSEAUX DIVERS**

40 centres de travaux en  
FRANCE et à l'ÉTRANGER

Siège social  
35, rue de l'Ouche-Buron - 44300 Nantes  
Tél. : (40) 49.26.08

Direction générale  
36, rue de l'Ancienne-Mairie - 92100 Boulogne  
Tél. : 605.78.90

## **FONDATEMENTS ET FORAGES TRAVAUX PUBLICS**

# Entreprise Georges DURMEYER

S.A.R.L.

57930 MITTERSHEIM — ☎ (8) 707.67.07

- FONDATIONS SPÉCIALES · PIEUX BENOTO
- CONFECTION ET BATTAGE DE PIEUX PRÉFABRIQUÉS
- PIEUX MOULES · CAISSONS MÉTALLIQUES
- BATTAGE ET ARRACHAGE DE PALPLANCHES



Agence Nationale  
pour l'Amélioration des Conditions de Travail  
16.18 rue Barbès 92120 Montrouge  
Téléphone 657 13 00

## Architecture des lieux de travail

L'Architecture industrielle, l'architecture de bureau  
et les conditions de travail ..... 44 F

*Notes et documents*  
Juillet 1976

Conception des espaces industriels et aménagement  
du cadre de travail ..... 28 F

*Recueil de textes. Complément au dossier de l'ANACT sur  
l'Architecture industrielle (juillet 1976).*  
Janvier 1978, 116 pages

Architecture industrielle et conditions de travail ..... 38 F

*Aide mémoire. Cet aide mémoire a pour but de fournir une pre-  
mière information rapidement accessible à des non profession-  
nels sur les problèmes de l'architecture industrielle.*  
Janvier 1979, 38 pages, Collection Outils et Méthodes

L'Usine aujourd'hui. 13 propositions ..... 33 F

*L'architecture industrielle et les conditions de travail au travers  
des concours de l'ANACT. Cette brochure illustrée rassemble  
les propositions les plus remarquables des concours d'architec-  
ture industrielle organisés par l'ANACT (session 1977.78).*  
Janvier 1979, 40 pages, Collection Point d'une question

Les Tours-bureaux ..... 28 F

*Au regard des conditions de travail, les tours-bureaux posent un  
certain nombre de questions que ce dossier essaye d'évoquer :  
existe-t-il une pathologie des tours ? La tour dans le tissu  
urbain. Janvier 1980, 28 pages, Collection Point d'une question*

Architecture pour l'industrie.....

*Etude réalisée avec la participation financière de l'ANACT par  
Constantin CHARALABIDIS et Philippe MEURICE, archi-  
tectes.*

*Cette publication dresse le bilan d'une recherche exploratrice  
menée depuis plusieurs années sur l'architecture des espaces  
industriels.*

*Tome 1 : Bilan de l'architecture industrielle en France durant  
les 10 dernières années.*

*Tome 2 : Etat de la réflexion internationale.*

*2<sup>e</sup> trimestre 1982, à paraître aux Editions du Moniteur  
Collection Architecture*



**AGENCE  
GÉNÉRALE  
de VOYAGES**

*AGV* — Une agence à votre mesure  
pour tous vos emplacements professionnels,  
vos loisirs, vos vacances.

17, rue Vital-Carles 33000 BORDEAUX  
Tél. (56) 52.11.30 Téléx AGV 550705 F

66, Cours Pasteur, BORDEAUX Tél. 91.16.28

LIC. 76046

## **INTER-TRANSPORTS**

S.A. au capital de 500.000 F

Siège Social : **10, rue Chanzy**  
**33500 LIBOURNE Tél. : 51.21.10**

*Location véhicules  
industriels*

**PHOTOGRAMMETRIE**

**PLANS A TOUTES ECHELLES**

**COMPAGNIE FRANÇAISE  
DE TOPOGRAPHIE  
ET PHOTOGRAMMETRIE**

11, rue des Petites-Ecuries 75010 PARIS

**824.63.06**

## **SORÉA**

GRENOBLE

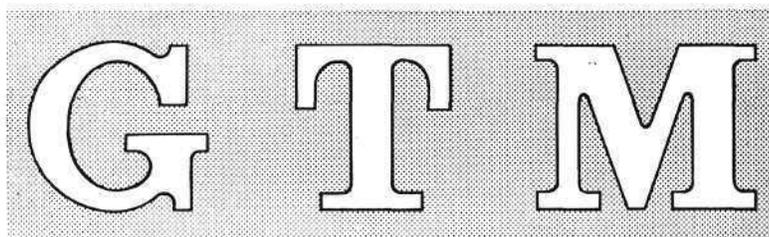
**SOCIETE DE RECHERCHES  
ET D'ETUDES AERIENNES**

9, avenue Louis Noiray 38700 CORENC

☎ (76).90.26.71

- couvertures verticales  
photogrammétriques  
à toutes échelles  
pour la cartographie  
et les études.
- Prises de vues obliques  
pour la documentation  
et la publicité.
- analyses et recensements  
par photo-interprétation.

AMÉNAGEMENTS HYDROÉLECTRIQUES  
CENTRALES NUCLÉAIRES - CENTRALES THERMIQUES  
CONSTRUCTIONS INDUSTRIELLES  
TRAVAUX DE PORTS - ROUTES - OUVRAGES D'ART  
BÉTON PRÉCONTRAIT - CANALISATIONS POUR FLUIDES  
CANALISATIONS ÉLECTRIQUES - PIPE-LINES



## **Grands Travaux de Marseille**

61, avenue Jules-Quentin — NANTERRE (Hauts-de-Seine)  
Tél. : (1) 725.61.83  
Télex : GTMNT 611 306 - Télécopieur

ÉDITIONS  
ET CRÉATIONS  
CARTOGRAPHIQUES

## **BLONDEL LA ROUGERY**

7, rue Saint-Lazare  
75009 PARIS  
Tél. (1) 878.95.54

**CARTES EN STOCK.** - Plans de Paris, Cartes départementales (89 départements), Cartes administratives de la France, Planisphères.

**ÉDITIONS CARTOGRAPHIQUES PUBLICITAIRES.** - Notre fonds comprend : plans de Paris, cartes pour agendas, cartes de France routière et touristique, cartes d'Europe, Planisphères. Tirages publicitaires : 500 à 1.000.000 d'exemplaires.

**CREATIONS CARTOGRAPHIQUES.** - Créations de fonds pour plans de villes et cartes diverses.

# LA PASSION SELON SÉGREG. ROUTES



RÉSUMÉ  
DES CHAPITRES PRÉCÉDENTS



JE LEUR AVAIS  
DIT: "JE NE VEUX  
PAS TRAVAILLER  
DERRIÈRE UN  
BUREAU".

JUSQU'ICI, NOUS AVONS VU NOTRE  
JEUNE INGÉNIEUR RAVI DE PATAUGER  
DANS TRENTE CENTIMÈTRES DE BOUE...



... RAYONNANT DE POU- VOIR  
FIGNOLER À LA PINCE À ÉPILER  
SON TRONÇON D'AUTOROUTE...



SUPER !  
J'AURAI LE TEMPS DE  
PRENDRE MON CAFÉ  
À CHÂLONS !

... CONTENT DE SON NOUVEAU RECORD:  
UNE MINUTE DOUZE SECONDES TROIS  
DIXIÈMES POUR AVALER UN SANDWICH...



... ÉMLI DE SA PREMIÈRE  
NUIT AVEC UNE  
NIVELEUSE...



... TRANSPORTÉ À L'IDÉE  
DE SA QUATRIÈME PROMO-  
TION EN DEUX ANS...

... PLUS DE  
CENT ÉTABLISSEMENTS  
EN FRANCE. JE SAIS,  
JE SAIS: J'EN AI  
DÉJÀ FAIT HUIT.



... ET HEUREUX  
DE REMUER  
DES MONTAGNES

Go Mathieu

(À SUIVRE)

# AVEC NOUS, VOUS EN BAVÉREZ ?

SCREG Routes c'est d'abord l'histoire d'une passion  
La passion de vouloir être un patron.

C'est aussi 8000 personnes réalisant plus de 3 milliards  
de travaux routiers et VRD en France et à l'étranger.

Mais c'est surtout votre prochaine grande école  
celle de la perfection, des responsabilités,  
de l'esprit d'équipe, de la réussite, de l'exploit..  
Ce sera peut être dur, mais nous sommes prêts  
à prendre le pari de votre réussite.

**Chiche !**



Si vous vous sentez la passion de diriger une entreprise ou un établissement  
en moins de 10 ans, si vous êtes Ingénieur diplômé ENPC, MINES,  
ou d'autres écoles d'Ingénieurs T.P., écrivez ou téléphonez pour en savoir plus,  
à la Direction du Personnel, SCREG Routes, Tour Malte BP 65, 91035 EVRY Cédex.  
Tél. 077.90.60. Nous vous inviterons à une séance collective d'information.



media-system



# La tête chargée de problèmes

— Confiez vos études  
à GLACIER —

Glacier oeuvre dans le monde entier et  
prend en charge les problèmes des  
ingénieurs civils recherchant des systèmes  
d'appuis de haute qualité, à faible coefficient  
de frottement et à prix convenables.



G 92

## Appareils d'appuis de conception Glacier

Sté Industrielle des Coussinets  
Département GLACIER  
BP 212 92306 LEVALLOIS PERRET  
Tél (1) 7586230 Télex 620482 SICLEV

The Glacier Metal Company Ltd.  
Alperton, Wembley, Middlesex, England  
Tel: 01-997 6611 Telex: 936881



Dix solutions pour être libérés de vos contraintes  
d'études. Demandez nos documentations.

**ESSOLUBE XD-3 EXTRA,  
50.000 KM SANS VIDANGER.**



TRANSPORTS



**Raymond VALLAEYS** s.a.

23, rue de Lille - 59250 HALLUIN

Tél. : (20) 94.92.02 (5 lignes groupées)

Télex 810.722

**ROUBAIX** : 4, quai de Dunkerque, Tél. : (20) 26.87.42

**LILLE** : Place Leroux-de-Fauquemont, port fluvial, Tél. : (20) 09.16.66

**RISQUONS-TOUT** : Tél. : (20) 01.43.20

**LESQUIN** : Tél. : (20) 96.92.33

**VALENCIENNES** : Tél. : (27) 44.18.54

**CALAIS** : Tél. : (21) 36.48.79

**PARIS-GARONOR** : Autoroute A 1, Tél : 865.42.83

**LYON** : Centre T.I.R. de Bron, Tél. : (7) 826.68.71

**CLUSES** : Autoport du Mont-Blanc, Tél. : (50) 98.59.71

**CHOLET** : 3, avenue Francis Bouet, Tél. : (1) 58.36.13

# cartes routières touristiques administratives



- des cartes murales
- des cartes "grand public"
- des réalisations prestigieuses :

cartoguides Shell, guide Total Grands Routiers, "Route Libre" des Banques Populaires, France de la B.N.P., carte du Port Autonome de Paris, Air Inter, Bison Futé...

***une équipe créative et dynamique à votre service***

Recta Foldex - 27, rue Trébois - B.P. 94 - 92303 Levallois-Perret  
Tél. : (1) 270.12.03 + 737.79.70 + - Télex 270105 F TXFRA N° 691

# **RECTA FOLDEX,** **UN EDITEUR CARTOGRAPHE CREATIF ET DYNAMIQUE**

8.000 heures de travail pour dessiner une carte régionale routière et touristique.

L'imaginiez-vous ?

C'est en effet à un véritable travail de bénédictin que se livrent les cartographes de **RECTA FOLDEX** soucieux de la qualité de leur production et de la clarté des renseignements à porter sur la carte.

**RECTA FOLDEX** depuis sa création en 1934 a créé et réalisé dans ses ateliers toute une gamme de cartes, plans, guides, atlas.

C'est cette société qui la première sur le marché a eu l'idée de découper la France en 15 cartes régionales à 1/250.000 (pour éviter d'emporter une cartothèque dans sa voiture...) de plastifier ses cartes pour pouvoir y tracer un itinéraire et l'effacer. C'est aussi les **CARTO-GUIDES SHELL**, la carte **ROUTE LIBRE** des **BANQUE POPULAIRES** et combien d'autres innovations.

Cette société en effet vend soit au public par l'intermédiaire des circuits habituels de vente (libraires papetiers, grands magasins) soit aux entreprises pour leur publicité promotionnelle, leurs cadeaux d'affaires.

Toute une clientèle qui l'oblige à une créativité permanente, donc à une production attractive et très diversifiée.

Depuis, la gamme des produits s'est considérablement enrichie : les 15 régionales et d'autres cartes sont devenues **CART'INDEX**. Elles ont l'originalité de présenter au verso l'index alphabétique des noms cités avec leurs coordonnées de repérage. Quelle facilité pour trouver le lieu ou la localité recherchés !

Des **FRANCE** à différentes échelles (notamment une France à 1/550.000 en 4 quarts) très pratique pour les grands parcours.

Une **FRANCE DEPARTEMENTS REGIONS**, décorative et excellent outil de travail.

Des cartes du **MONDE** à différentes échelles (notamment une carte des fuseaux horaires qui permet par un rapide calcul de connaître l'heure de tous les pays).

Une carte de **BELGIQUE**.

Des cartes d'**EUROPE**.

Des éditions pour **PARIS** et la **REGION PARISIENNE** (plan de Paris, Ile-de-France, Banlieue de Paris + plan de Paris au verso).

Une série de **CARTES EUROPEENNES**.

Une série de **CARTES INTERNATIONALES**.

Une série de **PLANS DES GRANDES VILLES DU MONDE**.

Un atlas de France (**FRANCE-ATLAS**).

Un atlas d'Europe (**EUROPE-ATLAS**).

et les toutes dernières nées :

des cartes à thèmes : **VINS DE FRANCE**

**FROMAGES DE FRANCE**

**DOUCEURS DE FRANCE**

très décoratives et intéressantes tous les gourmets.

**UNE CARTE DU CIEL** belle et enrichissante grâce à son additif, petit livre de 24 pages, véritable traité d'astronomie.

**60 KM AUTOUR DE...** (collection qui comporte déjà Lille, Lyon, Marseille, Nancy/Metz, Nantes, Paris, Strasbourg, Toulouse).

D'une lisibilité exceptionnelle, véritables gros plans sur les grandes villes et leur périphérie avec une super signalisation des entrées et sorties d'autoroutes, elles ont été qualifiées par la presse de cartes "anti-angoisse".

Toutes la production existe en cartes murales plastifiées ou stratifiées. Elles constituent souvent des posters très décoratifs.

# TELESCOPIC JCB

## POUR TOUS TRAVAUX

2,5 t à 6,40 m de haut  
Allonge à plus de 3 m  
en avant des roues



C'est un chargeur, un chariot élévateur, une grue mobile, un dumper. En bout de flèche, peuvent s'adapter les équipements pour : déposer, charger, reprendre, lever, atteindre, retourner, déplacer, distribuer, soulever, creuser, nettoyer, décaper, remblayer, approvisionner, gerber, stocker, tracter, pousser, forer.



Demandez notre brochure Application à : JCB Manutention - Z.I. - Rue du Vignolle 95206 Sarcelles - Tél. (3) 990.54.23.

# RINCHEVAL

95230 SOISY-SOUS-MONTMORENCY (FRANCE)

Tél. : 989.04.21 - Télex : 697 539 F



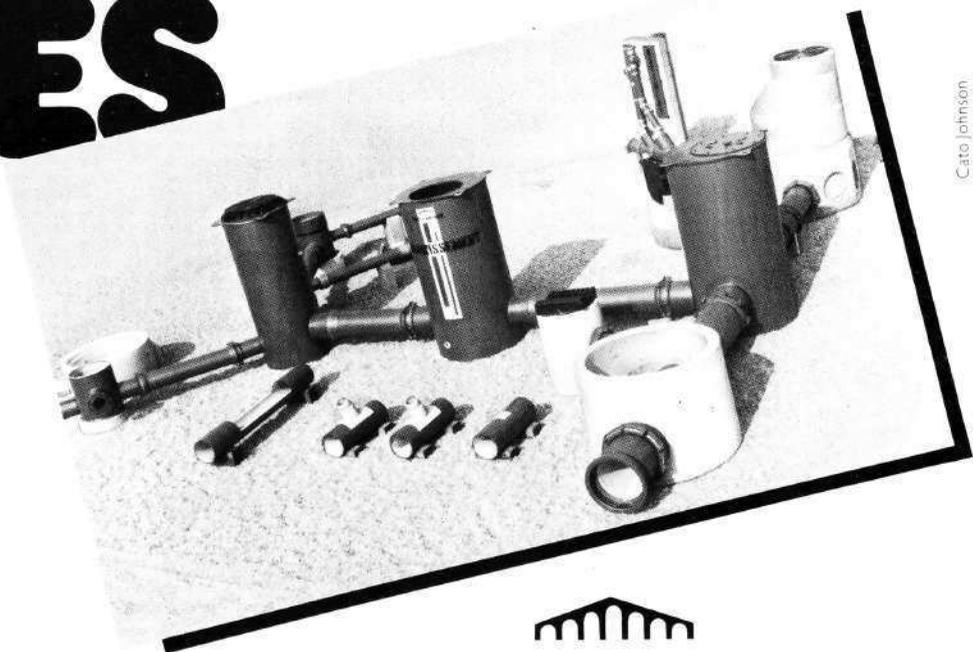
**MATÉRIEL DE  
STOCKAGE  
CHAUFFAGE**

**ET**

**ÉPANDAGE DE LIANTS  
HYDROCARBONES**

**ÉPANDEUSES, ÉPANDEUSES D'ENTRETIEN  
CITERNES FIXES ET MOBILES  
CENTRES DE STOCKAGE  
CHAUDIÈRES A HUILE, ETC.**

# LA FONTE DUCTILE, LE SYSTEME LE PLUS SUR POUR LES EAUX USEES



© Cato Johnson



PONT-A-MOUSSON S.A.

Contact auprès du service Promotion Industrielle,  
Pont-à-Mousson, 91 avenue de la Libération, 4 X 54017 NANCY Cedex - Tél. : (8) 396.81.21

# Préface

De l'aménagement du territoire à l'urbanisme, de la préservation des sites au tourisme, de l'agriculture à la recherche minière, l'Institut Géographique National est devenu, au fil des ans, le partenaire indispensable de tous ceux qui participent à la connaissance, l'aménagement et la protection de cette richesse méconnue, la surface de la Terre.

Encore faut-il que l'espace, dans lequel nous vivons, soit décrit de manière homogène, précise et fidèle. Or, bien que très ancien, l'équipement cartographique français est généralement considéré comme en retard par rapport à ceux des pays de niveau économique comparable. Retard imputable au fait qu'il n'a jamais existé en France de véritable politique cartographique d'ensemble.

Il est donc temps de doter notre pays d'une véritable politique cartographique nationale concernant toutes les productions dans ce domaine, quels qu'en soient la forme, l'échelle, l'utilisation et l'utilisateur : ceci implique une planification générale de la description de l'espace national français et je souhaite l'établissement d'un "plan cartographique national", à élaborer pour le plan quinquennal 1984-1988, fixant clairement les missions et les moyens. Pour ce faire un groupe de travail interministériel ad hoc sera mis en place.

Seul un plan cartographique national d'ensemble est capable d'impulser les recherches, la mise au point correspondante et la réalisation des produits, de mettre en œuvre une large concentration entre producteurs et usagers et d'assurer une coordination harmonieuse entre les divers producteurs intéressés, publics et privés, excluant tout gaspillage ou double-emploi, et générateur d'effets d'entraînement pour l'industrie nationale et les travaux similaires à l'exportation.

C'est dans le cadre de ce plan que j'entends que l'IGN, dont le savoir-faire et la notoriété ont largement dépassé nos frontières, mène de front les activités cartographiques traditionnelles et les activités de pointe.

Les sujets traités dans ce numéro prouvent à l'évidence que l'Institut Géographique National, s'il se trouve encore pour quelques années dans une phase de transition technologique profonde, "entre le passé et l'avenir" comme l'indique son Directeur, s'est en fait déjà résolument tourné vers l'avenir.

J'entends aussi faire de l'IGN un établissement public exemplaire en matière sociale : démocratisation des différents organes de décision, fonctionnement des organismes paritaires dans un esprit de concertation, transparence maximale de l'information et formation continue de qualité.

J'ai l'ambition de faire de l'IGN un établissement public pilote, en pointe pour ses techniques, et exemplaire pour sa gestion sociale.

Ce sont là les directives que j'ai récemment confirmées à la direction générale de l'établissement.

Je suis certain qu'elles seront mises en œuvre avec toute la diligence qu'il convient et en utilisant toutes les potentialités d'innovation, de recherche et de développement que décrit éloquemment ce numéro spécial entièrement consacré, et c'était justice, à un établissement public qui honore notre pays et doit se maintenir dans le monde aux tous premiers rangs de l'ingénierie cartographique.

*Roger QUILLIOT*  
*Ministre de l'Urbanisme et du Logement*

# Carte de visite de l'Institut Géographique National

Héritier direct du Service Géographique de l'Armée dissout en 1940 afin qu'il échappât à l'occupant, l'Institut Géographique National est un établissement public à caractère administratif placé sous la tutelle du Ministre de l'Urbanisme et du Logement. Son effectif actuel est d'environ 2 500 personnes : 670 fonctionnaires techniques (ingénieurs géographes, ingénieurs des travaux géographiques et cartographiques de l'État, géomètres), 130 fonctionnaires administratifs, 1 000 ouvriers professionnels (restituteurs, dessinateurs, photo-identificateurs, photographes, imprimeurs, etc...) et près de 700 autres personnes (contractuels, agents aéronautiques, ouvriers saisonniers ou à domicile, etc...).

Ses crédits de fonctionnement pour 1981 se sont élevés - hors amortissements - à 369 millions de francs. La contribution de l'État, participation à l'exécution des missions de service public, était de 197 MF, le reste des dépenses étant couvert notamment par les recettes propres de l'établissement : ventes de cartes (40 MF), ventes de photographies aériennes (7 MF), travaux facturés en France (31 MF) et à l'étranger (64 MF), droits d'auteur et de scolarité (5 MF), autres recettes habituelles (20 MF).

L'établissement comprend, outre un certain nombre de services généraux, des services de production responsables chacun d'une ou plusieurs grandes catégories de produits (photos aériennes, cartes aux grandes échelles, cartes aux moyennes échelles, etc...) et des services commerciaux assurant la recherche et la négociation des contrats et les relations avec le public.

Par analogie avec les chaînes de production de type industriel, l'I.G.N. peut être défini globalement comme une entreprise de traitement d'informations localisées sur la surface terrestre.

Le processus général de production commence par la **saisie des données** (photos aériennes, informations transmises par satellite, mesures et enquêtes sur le terrain, fichiers thématiques de toute nature), se poursuit par leur **traitement** (calculs, restitution, numérisation, archivage en mémoire) et aboutit à des **sorties** diverses, regroupées en trois types :

— **documents cartographiques** : cartes topographiques de base, cartes dérivées, cartes touristiques, etc...

— **documents photographiques** : photographies aériennes, photoplans, images thermographiques, spatio-cartes issues des messages d'un satellite, etc...

— **documents numériques** : banques de données géographiques, banques de données urbaines, description du relief sous forme numérique, etc...

L'I.G.N. dispose d'installations à Paris et en proche banlieue, d'unités déconcentrées en province (Creil, Villefranche-sur-Mer, Bordeaux, Nantes, Aix-en-Provence, Nancy, Lille, Lyon, Blois, Dijon et Rennes) et d'agences à l'étranger (Dakar, Bamako, Niamey, Libreville, Tripoli, Riyadh, Bahrein et Caracas) couvrant chacune un ou plusieurs pays.

Les missions de service public de l'I.G.N. étaient définies initialement par l'article 2 du décret du 23 décembre 1966 mais des adaptations sont apparues nécessaires à partir de 1980, à la fois pour tenir compte de l'évolution de l'environnement de l'Institut, et pour intégrer la mutation technologique des dernières années. Ces adaptations ont abouti à la publication du décret n° 81-505 du 12 mai 1981. Ce texte, essentiellement technique, actualise et enrichit la gamme des missions de service public de l'établissement, et sert de support à toutes les nouvelles orientations assignées par le Gouvernement pour satisfaire aux besoins nationaux des prochaines années, ainsi que le confirme la lettre ministérielle d'objectifs de M. Roger QUILLIOT, en date du 12 novembre 1981.

Les activités de l'I.G.N. peuvent se classer en trois familles distinctes :

1) Les activités de "vocation" (ou de service public). Celles-ci sont financées pour partie, et pour partie seulement, par une participation de l'État, et comportent deux volets :

— d'une part, l'ensemble des travaux nécessaires à l'élaboration et à l'entretien des cartes de base du territoire national à diverses échelles ;

— d'autre part, des activités annexes mais indispensables :

• action de recherche et de développement de techniques nouvelles et de produits nouveaux,

• formation d'ingénieurs et de techniciens géographes (gestion de l'École Nationale des Sciences Géographiques de SAINT-MANDE),

• constitution et archivage de la documentation à caractère géographique (cartothèque, photothèque...),

• coopération technique (détachement d'agents qualifiés comme experts ou formateurs dans des pays en voie de développement, etc...).

2) **La réalisation de produits dérivés des précédents.** Ceux-ci sont fournis sur commande à des administrations diverses (Défense, Agriculture, etc...) et à des collectivités locales.

Les recettes correspondantes viennent en atténuation des dépenses de vocation (la participation de l'État ne couvrant, on l'a vu, qu'une partie du prix de revient de la production "Service Public" de l'établissement) et s'ajoutent à celles qui résultent de la vente au public des produits de la cartographie de vocation.

3) **La réalisation de produits intégralement facturés.** Elle consiste en la fabrication de cartes topographiques, thématiques et touristiques et en des travaux et services exécutés pour le compte de clients publics ou privés en France et à l'étranger.

L'I.G.N. constitue l'un des éléments de base pour une **politique gouvernementale globale de la cartographie française** et sera l'un des outils nationaux pour la réalisation du **Plan Cartographique National inséré au Plan Quinquennal 1984-1988**.

# L'évolution technique de l'Institut Géographique National : entre le passé et l'avenir

par Jean-Antoine WINGHART  
Directeur Général de l'Institut Géographique National

M. René MAYER avait, en avril 1975 et pour la première fois dans l'histoire de l'Institut Géographique National, pris l'heureuse initiative de faire connaître l'établissement aux lecteurs de la revue de l'Association Professionnelles des Ingénieurs et Ponts et Chaussées et de Mines (P.C.M.) qu'il présidait, à l'aube de l'impulsion remarquable qu'il allait donner à l'I.G.N.

Quand on compare le générique des deux numéros, à sept ans d'intervalle, on constate l'ampleur du chemin parcouru par l'Institut dans les domaines de la recherche, de l'ingénierie cartographique et de la constante promotion de productions nouvelles qui a assuré la progression régulière de la productivité de l'Institut.

A l'article sur l'auscultation de la surface de la terre (qui évoquait en 1975 les espoirs suscités par le radar latéral pour "percer" les formations nuageuses, ces ennemis jurés de la reconnaissance aérienne) font écho dans ce nouveau numéro les articles de fond de MM. Patrice FOIN, Jean-Claude LUMMAUX et Serge SOUDOPLATOFF sur la **télé-détection**.

L'utilisation des satellites, conjuguée avec les méthodes aéroportées déjà bien connues, met désormais à la disposition de l'aménageur une gamme d'outils qui va du schéma directeur ou de la cartographie de base jusqu'à l'étude de détail sur un thème donné. En France, des réalisations telles que la carte de l'inventaire du littoral ou la constitution d'une banque de données de forêts au 1 : 100 000 sont des exemples des techniques I.G.N. qui se sont développées depuis cinq ans à la cadence des progrès des techniques aérospatiales dont elles sont issues.

La télé-détection s'applique aussi bien à la recherche géologique (prospection minière et pétrolière) qu'à l'appréhension de ressources plus rares ou plus difficiles à cerner (biomasse, résurgences d'eau douce), aussi bien à la connaissance économique du globe qu'à la recherche du renseignement militaire.

Le satellite français géocartographique n'était pas encore conçu en 1975 : M. Alain BAUDOIN présente dans ce nouveau numéro les **perspectives du programme SPOT**, le satellite français spécialement adapté à la cartographie en raison de sa

haute résolution et de ses possibilités stéréoscopiques, nettement supérieures aux performances actuelles du satellite américain LANDSAT ; l'I.G.N. assumera la procédure du traitement géométrique des images spatiales transmises par ce satellite (à lancer par la fusée française ARIANE fin 1984) et leur transformation en différents types de produits ; les informations fournies par SPOT pourront être utilisées pour réaliser des cartes topographiques et d'occupation du sol au 1 : 100k, voire pour certains thèmes à des échelles plus grandes.

Les articles de MM. Claude BOUCHER et Jean DUCLOUX sur la géodésie complètent et précisent la présentation faite en 1975. MM. Philippe GIRAUDIN et Patrice CORRE exposent, quant à eux, deux exemples d'application de la photogrammétrie à l'étude et à la surveillance des ouvrages d'art.

Ni la cartographie automatique appuyée sur la numérisation systématique des données géographiques, ni la cartographie thématique comme outil systématique d'aide à la décision n'étaient nulle part au monde encore opérationnelles en 1975 ; désormais, comme l'explique M. Jean DENEGRE, l'apparition généralisée des données géographiques sous forme **numérique** a conduit à développer un système d'information géographique capable de prendre en compte les données très diverses déjà disponibles et de visualiser sur traceur ou sur écran les cartes issues de ces données. Demain l'utilisateur pilotera lui-même sur son clavier la visualisation automatique des informations dont il aura besoin.

En quelques années, comme le montre M. Bruno PASQUIER, le développement du dessin automatique et l'informatisation généralisée des données statistiques ont permis un essor sans précédent de la cartographie thématique des phénomènes statistiques.

Enfin, en sus des apports de la télé-détection, du spatial et la numérisation, l'I.G.N. a su, durant ces sept dernières années, "créer" des types de productions plus ou moins sophistiquées et entièrement nouvelles répondant à des questions précises de décideurs locaux et d'aménageurs : l'article

de M. Albert LACOMME-LAHOURETTE décrit quelques-uns de ces produits nouveaux.

Mais l'I.G.N. n'oublie pas qu'en 1982 les usagers français attendent toujours de lui des productions traditionnelles, sous forme de photographies aériennes panchromatiques et couleurs, et de cartes sur papier imprimées en plusieurs couleurs, même si cette représentation, pour pédagogique qu'elle soit, ne représente finalement que la partie émergée d'un iceberg, un aspect dépouillé et sélectionné de l'in vraisemblable richesse que constituent d'une part les fichiers en tous genres de données localisables (c'est-à-dire rapportées à un point défini en x, y et z), et d'autre part les archives spatiales présentes et futures ; 8 millions de pixels par scène LANDSAT en 1982 (le "picture élément" ou pixel est représentatif d'une parcelle élémentaire de 60 x 80 mètres de la surface terrestre), et demain, en 1985, 36 millions de pixels (de 10 x 10 mètres désormais) par scène SPOT, le récepteur de Toulouse devant recevoir 650 scènes par jour et en traiter en moyenne 80 par jour.

MM. René CUENIN, Henri HOVASSE et Maurice CARBONNELL décrivent ainsi les productions classiques de l'I.G.N. en France et à l'étranger rappelant notamment que l'I.G.N. est un exportateur d'ingénierie et de formation cartographique pour une partie importante de son budget tandis que M. Alain VILLARET, Directeur Départemental de l'Équipement des Bouches-du-Rhône, donne son point de vue d'utilisateur quotidien des produits de l'I.G.N., spécialement dans les domaines de l'urbanisme et de l'aménagement de l'environnement français.

Enfin, à titre personnel, je ne pouvais oublier l'enrichissement des trois années de direction de l'Agence d'Urbanisme grenobloise, aux côtés du Maire de Grenoble Hubert DUBEDOUT, qui me faisait un devoir de recueillir ses réflexions sur l'intérêt pour les Villes de France des banques de données urbaines localisées, domaine dans lequel l'I.G.N. apportera sa contribution en cartographie numérisée aux grandes échelles, en poursuivant par ailleurs de son côté

l'objectif national de la mise au point d'un **système global de bases de données géographiques du territoire** à caractère topographique et thématique, sous formes graphique et numérique, en s'appuyant sur les fichiers numériques localisés et sur les applications de la télémétrie à la cartographie.

Là encore, il y a dix ans, nul ne pouvait pronostiquer le rôle des banques de données comme outil de décision en matière de politique urbaine, comme nul ne peut décrire actuellement avec précision ce que sera l'informatique des données localisables qu'utiliseront dans dix ans les Collectivités Locales régionales, départementales et communales françaises.

On peut en définitive, et sans grand risque d'erreur annoncer que l'I.G.N. a au moins autant d'innovations techniques à trouver et à promouvoir avant 1990 qu'il n'en a trouvé et promu depuis 1975...

Si le spatial, le numérique et le thématique, conjointement aux productions classiques réclamées par les usagers, les élus locaux et leurs services techniques, les administrations, les associations, etc... constituent en France le fond des activités de l'I.G.N. (on a vu que l'établissement développait parallèlement son implantation sur les marchés étrangers de la cartographie et de l'ingénierie) il est bon de rappeler que cette évolution est générale dans les pays à haut niveau économique et que la France, avec l'I.G.N. a à la fois un prestigieux passé à honorer et un rang à tenir pour l'avenir et doit donc consacrer des moyens suffisants à une véritable politique cartographique nationale.

Historiquement en effet, la cartographie française n'a cessé de se perfectionner depuis trois siècles, au rythme à peu près régulier d'une carte de base nouvelle par siècle : la carte de CASSINI, puis la carte au 1 : 80 000 dite d'État Major et enfin les cartes au 1 : 50 000 et au 1 : 25 000 dont la dernière feuille est sortie en mai 1980. Le progrès dans la description de plus en plus minutieuse de l'espace se mesure à l'enrichissement de la symbolique : 38 symboles dans la légende de la carte de CAPITAIN (XVIII<sup>e</sup> siècle) assemblage après réduction de la carte de CASSINI ; 72 symboles dans la carte d'État Major du XIX<sup>e</sup> siècle où apparaissent pour la première fois les voies ferrées, les limites administratives, des éléments industriels, la figure du terrain etc... 85 symboles dans la carte de France au 1 : 50 000 type 1922 ; plus de 230 symboles dans la carte de France au 1 : 50 000 type 1980.

Traditionnellement, l'espace français a été représenté sous deux formes : la carte, image commentée de l'aspect topographique du territoire, et le plan cadastral, représentation de la division de la propriété du sol.

La politique cartographique de la France a privilégié pendant trois siècles l'utilisation militaire de la carte ; plus précisément, la carte de CASSINI, la carte de l'État Major

et les plans directeurs de guerre (réalisées par le Service Géographique de l'Armée et en usage lors de la première guerre mondiale), les cartes de base au 1 : 25 000 et au 1 : 50 000 établies par l'Institut Géographique National sont des cartes topographiques "au trait", qui décrivent en fait les obstacles à la progression, les thalwegs et les lignes de crête, les voies de communication, les principaux établissements humains, les zones boisées, etc...

Parallèlement, en 1807, a été entreprise la confection des plans cadastraux. Rénovés à partir de 1930, ils donnent une description à grande échelle de l'ensemble du territoire dans tous les détails de son morcellement en propriétés élémentaires et constituent avec la documentation qui leur est associée (identification des parcelles, contenance, description de l'utilisation du sol et des constructions, évaluation fiscales), l'infrastructure indispensable à la transmission de la propriété, à l'établissement de la fiscalité directe locale et aux travaux d'aménagement foncier.

Jusqu'à une époque récente ces cartes et plans, complétés par des cartes routières, ont satisfait la plupart des besoins. En 1970, apparaissent les cartes touristiques de grande série produites par l'I.G.N. pour répondre aux exigences nées du développement des loisirs (sentiers de grande randonnée, parcs naturels nationaux et régionaux, etc...).

Depuis quelques années, de nouveaux besoins se font jour, liés aux inventaires des ressources, à l'utilisation des sols (nature des cultures, valeur des terres, typologie forestière...) et plus généralement au report de données dites thématiques sur des fonds de carte servant de support : d'où de nouvelles familles de symboles dans les légendes de cartes, pouvant étendre à l'infini les 230 symboles de la carte topographique de point de départ. Parallèlement, se développe le grand courant de réflexion et de prise en compte politique de tout ce qui est lié à la protection des paysages et à la gestion du patrimoine culturel.

Ces besoins naissent de plusieurs phénomènes : d'abord l'industrialisation et l'urbanisation du territoire national, même si le mouvement s'en est ralenti, qui tendent à se concentrer sur les grands sites où se rassemblent déjà les activités économiques essentielles et le long des grands couloirs de circulation à l'échelle européenne ; ensuite la recherche d'une meilleure complémentarité entre zones urbaines et zones rurales, enfin le développement continu des migrations touristiques saisonnières.

Ainsi, à la cartographie topographique de type militaire, qui restera néanmoins nécessaire, va s'ajouter une **cartographie de l'aménagement du territoire** (1) où la précision rigoureuse des cotes nécessaires au tir terrestre ou au projet autoroutier fera place à une distribution poussée du type d'utilisation des sols (vignes ou arbres fruitiers, céréales ou prairies ; résineux ou feuillus ; zones à forte densité d'habita-

tion ou désert rural, etc...). Les plans cadastraux (2), auxquels correspondent de grands fichiers informatisés contenant toutes les informations utiles sur les propriétaires, les locaux et les parcelles, serviront aussi de plus en plus de support à de telles représentations. Répondant aux besoins nouveaux des aménageurs le Cadastre a déjà développé des productions particulières (plans cadastraux normalisés ou PCN ; assemblages cadastraux et topographiques ou ACT, ces derniers en liaison avec l'I.G.N.).

Le croisement de cette tendance, d'une part avec l'**utilisation généralisée de l'informatique** (permettant la mise en mémoire de la masse considérable de données quantifiées rendant compte de la variété du sol puis l'utilisation d'un traitement automatique de ces données), d'autre part avec l'utilisation des satellites de cartographie et de télédétection, pousse déjà les États-Unis, l'Allemagne Fédérale et le Japon à redéfinir radicalement leur politique géographique et à considérer désormais la cartographie comme un outil indispensable à la décision tant au niveau gouvernemental qu'à celui des Collectivités Locales.

Les principaux faits porteurs d'avenir et qui modifient déjà profondément le visage de l'I.G.N. sont donc le développement de l'**informatique**, du thématique et du **spatial**.

Les modifications qu'ils génèrent portent sur les techniques de saisie, de traitement et de représentation des données localisées ainsi que sur les qualifications et les modes de vie des personnels concernés.

Les saisies se diversifient : au terrain s'ajoute l'avion, puis le satellite ; au capteur photographique s'ajoutent les scanners visibles et infrarouges, au théodolite les distancemètres à laser de haute précision... D'importantes données auxiliaires deviennent disponibles comme celles sur la localisation précise de l'avion lors des prises de vues. Les données graphiques existantes se transforment peu à peu en fichiers numériques.

Les saisies s'automatisent : on réduit l'effectif des personnels à bord des avions, on enregistre les données directement sur bande magnétique, le nivellement se motorise, etc...

Les traitements s'informatisent dans tous les domaines : géodésie, photogrammétrie, télédétection, cartographie numérique. On utilise, en représentation finale, des appareils de précision à commande numérique (table traçante, orthoprojecteur, traceur à laser...). Les travaux manuels de dessin s'amenuisent d'autant.

(1) Commencée sur leur territoire par les Américains, sous la dénomination de "Land use and Land cover Mapping".

(2) L'informatisation de ces plans a déjà été réalisée sur un certain nombre de grandes communes françaises.

Les temps de passage des équipes sur le terrain se réduisent aussi considérablement, tout au moins dans certaines disciplines (géodésie, photogrammétrie) sans toutefois pouvoir s'annuler. Il restera toujours une part de réalité-terrain qui ne pourra se construire qu'à travers un travail sur place, qu'il s'agisse de la détermination de points de base, de la surveillance zonale, de l'identification de détails pour la cartographie au trait ou de l'échantillonnage de témoins pour la photo-interprétation et la cartographie thématique.

L'originalité des Sciences géographiques repose sur ce mélange, en proportions évolutives, de techniques multiples, s'exerçant tant en laboratoire que sur le terrain.

Le spatial fournit des données numériques assurant tant la localisation géodésique que l'observation globale et périodique de la terre. Il en résulte des imageries qui nécessitent d'importants traitements de laboratoires. On en déduit des cartes d'occupation du sol, d'inventaires statistiques ou d'évolution, indispensables à la gestion de demain du territoire.

Enfin, on l'a vu, **le projet français SPOT** sera, dès 1985, à l'origine d'un vaste réseau d'applications, tandis que **le développement de produits nouveaux** conduira lui aussi à de nombreuses applications.

En effet, indépendamment de la préparation du traitement des images SPOT, l'I.G.N. développe depuis quelques années des produits nouveaux en plus des produits traditionnels que sont les points de géodésie et nivellement, les cartes "au trait" classiques, les photographies aériennes.

Ces produits nouveaux résultent notamment :

- au niveau de la saisie des données de l'apport des images spatiales (actuellement LANDSAT) et de renseignements divers de provenance hors I.G.N. (données humaines, économiques, agricoles...);

- de la généralisation du traitement informatique, ce qui suppose au préalable de rendre numériques les données qui ne le sont pas (dont celles issues des produits traditionnels existants : courbes de niveau par exemple);

- de la sortie des résultats sous des formes variées, permettant d'une part de créer commodément de nombreuses cartes thématiques, d'autre part de sortir des produits sous forme numérique (pour exploitation par d'autres ordinateurs, proches ou lointains).

Ces produits nouveaux constituent un marché important largement ouvert, et sont à ce titre un secteur essentiel pour l'avenir de l'établissement, qui doit prendre une part importante dans ce marché, faute de quoi d'autres le prendront à sa place.

Sur tous ces points, les quatre grands pays industrialisés du monde occidental en sont actuellement à peu près au même stade général de recherche, de développement et de production (avec cependant une légère avance des États-Unis due à l'antériorité du

satellite LANDSAT, avance qui sera ensuite compensée pour la France, par le lancement en 1984 du satellite SPOT) et ils ressentent à peu près au même moment les mêmes demandes et les mêmes besoins.

La France tire prestige actuellement de ses recherches dans le domaine cartographique; mais pour garder sa place dans le peloton de tête, elle doit se doter de tous les atouts nécessaires à la réussite des grands paris économiques, écologiques et technologiques des années 80-90 et en particulier **se doter globalement d'une politique d'ensemble de la cartographie.**

**Il n'y a en effet jamais eu vraiment de politique globale de la cartographie française jusqu'à ce jour :** la simple juxtaposition de producteurs, donc de produits non coordonnés, en tient lieu depuis plusieurs décennies; tant qu'il ne s'agissait que de doter la France de ses deux cartes de base au 1 :25 000 et au 1 :50 000, avec la tenue parallèle de cartes cadastrales, cette organisation n'était pas trop dommageable à l'intérêt général (1).

Désormais, la floraison de produits graphiques et informatiques rendant compte de l'occupation et de la gestion du sol français, l'apport technique de la télédétection aérienne et spatiale, les demandes des collectivités urbaines et rurales en matière de banques de données localisées et cadastrales, **tout cela exige qu'un Plan Cartographique National soit étudié avec tous les producteurs publics et privés et sous l'égide du Ministère du Plan comme une des composantes de l'équipement de la France :** Cette remise en

ordre ne saurait être dévolue aux seuls techniciens, mais doit participer d'une volonté politique de planification, basée sur une analyse approfondie et globale des besoins des élus locaux, des administrations, des usagers, des associations, etc... La France aura alors une politique générale de description de l'espace national définissant non seulement les productions prioritaires de Service Public et les moyens de leur réalisation, mais aussi le rôle et la place du secteur privé dans ce domaine.

Deux textes de base réorientent désormais l'action de l'I.G.N. : le décret du 12 mai 1981 et, six mois après ce texte réglementaire, la lettre de directives du 12 novembre 1981 de M. Roger QUILLIOT, Ministre de l'Urbanisme et du Logement, définissant avec précision les objectifs fixés à l'Institut.

Ce dernier texte donne désormais à l'établissement la certitude de n'être plus un "mal aimé", tandis que l'ère spatiale qui s'ouvre fait éclater la conception étroite de simple "facteur de cartes" qui lui était historiquement assignée.

Le ministère tuteur de l'I.G.N. confirme la nécessité d'une véritable politique cartographique de la France concernant toutes les productions dans ce domaine quels qu'en soient la forme, l'échelle, l'utilisation et l'utilisateur.

Le décret et la lettre ministérielle confirment que l'Institut mènera de front d'une

part ses productions traditionnelles et d'autre part la recherche-développement et la mise au point des produits sophistiqués de l'avenir; il assurera à la fois la satisfaction des besoins publics en produits de vocation et le maintien, voire le développement, de l'image de l'I.G.N. dans la compétition cartographique internationale.

Les directives fixées à l'I.G.N. soulignent par ailleurs le rôle que l'établissement doit jouer aux côtés du Ministère de la Coopération dans l'aide aux pays en voie de développement et la nécessité d'une représentation territoriale I.G.N. plus affirmée sur le territoire national, tirant les conséquences de la loi relative aux droits et libertés des communes, des départements et des régions.

Certes, à mener de front une politique d'expansion régionale et une politique d'expansion à l'étranger, à vouloir assumer à la fois des productions traditionnelles d'hier et la préparation des productions sophistiquées de demain, l'I.G.N. courrait le risque d'un "surmenage" industriel inquiétant ou d'une perte de son identité dans des sous-traitances exagérées, si la définition prochaine d'un Plan Cartographique National n'arrivait opportunément pour déterminer les moyens de gestion, de production, de recherche et d'enseignement nécessaires aux missions qui seront confiées à l'établissement.

L'I.G.N. va donc vivre, pour mener à bien sa mue technologique, **deux ou trois années de transition** l'amenant en même temps aux premières années du Plan Quinquennal 84-88 et au seuil de l'ère spatiale.

Ce n'est qu'à partir des années 1985 que l'I.G.N. abordera une phase nouvelle de son existence en commençant à tirer quelques recettes de la vente d'un éventail de nouveaux produits basés sur le spatial, l'informatique et le thématique.

Ainsi l'avenir de l'I.G.N. passe-t-il par une phase intermédiaire de quelques années pendant lesquelles il doit pouvoir disposer, pour traverser le gué, de tous les atouts et de toutes les attentions du Gouvernement dont il est, en tant qu'Établissement Public, l'un des outils privilégiés pour une véritable politique cartographique nationale et une "valeur sûre" de prestige de la France pour l'avenir presque immédiat.

Il est hautement probable que les quelques nations les plus avancées dans la technique spatiale des capteurs de description de l'espace et des traitements des images transmises (États-Unis et Japon) joueront vis-à-vis de leur département cartographique d'État (DMA et USGS pour l'un; Geographical Survey Institute pour l'autre) la même stratégie **d'une avancée technologique coûte que coûte** pour déboucher sur la maîtrise de la connaissance en temps réel de n'importe quel détail de la surface du globe.

Tant est grand l'intérêt stratégique d'une telle maîtrise pour la géopolitique future...

# Une cartographie pour les collectivités locales

*Un entretien avec Monsieur Hubert DUBEDOUT, député-maire de Grenoble*

*On dit volontiers que la carte est l'instrument de maîtrise sur un territoire et il est vrai que l'idée d'aménagement est toujours présente dans l'activité cartographique. Les travaux de l'Institut Géographique National, surtout les plus récents, aussi bien que sa mission nationale, en témoignent.*

*Inertes ou vivants les éléments sont en désordre dans la nature, ou plutôt, nous appréhendons mal leur ordre. La carte discipline. En visualisant un état de fait elle souligne les tendances, permet l'extrapolation donc la décision pour infléchir selon une volonté.*

*Quel rôle joue et doit jouer la cartographie dans les réflexions, les études, les programmes qui décrivent, modifient ou transforment l'espace ? Comment peut-elle être un outil d'aide à la décision ?*

*Il apparaît qu'elle doit se diversifier, se coupler aux techniques nouvelles, pour devenir un véritable tableau de bord, intégrant à mesure les données nouvelles, permettant un "pilote" qui ne peut plus être aléatoire.*

*L'un des fronts, le plus vital peut-être, de l'aménagement de l'espace, est celui des villes où les responsables locaux ont à répondre à des besoins ponctuels liés aux modifications constantes de l'économie et du démographique, en même temps qu'ils doivent améliorer et entretenir les structures existantes.*

*Parmi ces villes, Grenoble a toujours eu un dynamisme de gestion qui en fait un exemple, voire un modèle. Elle possède depuis une dizaine d'années un "bureau du plan" pour qui la cartographie tend à devenir précisément ce "pilote" qui doit lui permettre, au mieux des possibilités, une clairvoyance de gestion.*

*Nous avons rencontré le député-maire de la ville, Monsieur Hubert Dubedout, pour nous entretenir avec lui des réalités de la gestion complexe de Grenoble, ville de 170 000 habitants au centre d'une concentration urbaine avoisinant les 400 000.*

**M. Hubert DUBEDOUT :** "Précisons d'abord que la gestion de l'espace collectif ne peut relever que de la seule compétence de la ville. Nous en sommes responsables en tant qu'élus de la population, comptables devant les usagers, les contribuables, les électeurs.

Pour les problèmes que vous évoquez, Grenoble possède un avantage appréciable qui est la maîtrise de la gestion du sol, soit à travers des sociétés d'économie mixte, soit en gestion directe des services. C'est le cas pour l'assainissement, le chauffage urbain, les transports, le Service des Eaux - la distribution du gaz et de l'électricité et la voirie.

Donc, de fait, ceux qui font cette histoire du sol se retrouvent autour de la municipalité dans un dialogue constant. Cela permet une dynamique de maîtrise municipale qui ira plus loin encore avec l'aboutissement de notre projet d'implantation d'un tramway.

L'intervention des services municipaux dans la ville est quasi permanente et il y a pour nous une nécessité absolue de connaître les capacités et l'état du sol.

Ajoutez à cela :

— le problème très sensible des télécommunications qui demandent de plus en plus une transmission par le sol et un réseau de qualité supérieure

— le fait que Grenoble s'est dotée d'outils de gestion de l'urbanisme à tous les niveaux et qu'il y a nécessité d'aboutir à une cohérence, notamment pour les transports urbains

— que nous avons établi un fichier du tissu démographique, parfaitement en accord, soit dit en passant, avec les textes de lois "Informatique et Libertés" en vigueur, et que nous avons donc une connaissance démographique très fine.

Ajoutez à cela, enfin, et c'est l'enveloppe de cet ensemble, que nous sommes particulièrement sensibles aux problèmes socio-économiques et donc très attentifs à une appréhension globale de l'espace collectif.

Notre première préoccupation concerne l'organisation technique du sol et du sous-

sol. L'un et l'autre deviennent en ville, des denrées rares. S'imbriquent en effet étroitement : l'organisation de la voirie selon les modes de déplacement (deux roues, handicapés, piétons, bus...), le chauffage collectif urbain, télé-informatique, TV par câbles, régulation du trafic, eau, gaz, électricité et divers réseaux de télécommande ou télé-mesure.

La grande attention que nous portons aux problèmes humains et à la qualité de vie nous fait un devoir particulier de prendre en compte autant les inconvénients apportés à l'usager, que les coûts des travaux. Les élus connaissant bien ces situations où le public a parfois l'impression que le sol est mal géré et que les interventions ne sont pas coordonnées. Et cela est vrai parfois. Dans notre volonté d'y remédier il nous faut démembrer la complexité de plus en plus dense du tissu de la ville et pour cela il nous faut connaître avec une extrême précision et une extrême certitude l'état de toutes les composantes.

Cela suppose que nous disposions d'informations nombreuses précises, à jour. Cela suppose une cartographie à part entière qui associe tous les intervenants à l'élaboration des données nouvelles. La coordination indispensable de tous les éléments d'un tissu urbain implique une connaissance très fine et justifie économiquement cet investissement cartographique.

Au-delà, nous aurons à traiter d'autres préoccupations : Il ne s'agit pas seulement de gérer des objets, mais aussi de connaître le "vécu" à l'échelle d'une parcelle, d'un îlot, d'un quartier. Les données démographiques, économiques, foncières, doivent pouvoir être synthétisées et représentées graphiquement en vue du dialogue avec les habitants et les différents acteurs.

Pour dominer et maîtriser l'ensemble de ces problèmes, les besoins d'un plan sont ressentis depuis longtemps à Grenoble, d'où la mise en place, il y a dix ans, d'un "bureau du plan".

A l'heure actuelle ce service doit disposer

d'un instrument plus systématique et de réponse plus rapide, d'où le recours à l'informatique. L'outil doit avant tout être maîtrisé et cela conduit à retenir la technique graphique interactive où le poste de

travail digitaliseur plus écran graphique remplace la table à dessin.

Notre objectif pour le sol et le sous-sol, où l'exigence de précision est de l'ordre du

centimètre, est d'avoir une couverture d'ensemble d'ici cinq à dix ans.

Par contre, pour la connaissance du tissu urbain, où la précision s'apprécie en décimètres, une couverture d'ensemble est immédiatement nécessaire, d'où l'intérêt d'un plan numérisé tel que l'Institut Géographique National peut en proposer à 1 : 5 000 et restituable par le système cartographique qui, en liaison avec un instrument de type Répertoire Géographique Urbain, permettrait une cartographie topographique et thématique de données démographiques ou socio-économiques issues d'autres systèmes de gestion.

Photo Jipé



Cette définition de l'outil nécessaire à la ville est l'aboutissement d'une étude conduite sur plusieurs années. La demande pressante du bureau du plan et des utilisateurs, qui se sont engagés à financer pour partie le système cartographique, nous conduit à rechercher une solution rapide et fiable à mettre en œuvre dès 1982.

Dans cette période de décentralisation et de démocratisation, un service public comme l'Institut Géographique National doit dialoguer "sur le terrain" avec les responsables. Il affrontera ainsi la complexité des problèmes particuliers et pourra synthétiser les besoins nationaux valables sur l'ensemble du territoire, grâce à ses techniques exhaustives et à sa maîtrise d'une longue histoire de la cartographie.

Dans la mesure où les techniciens de l'I.G.N. auront le souci d'un dialogue précis, en contact avec les réalités, ils sauront répondre à la demande en élaborant les produits adaptés.

Il me semble que l'une des vocations nationales de l'I.G.N. se situe à ce carrefour.

Un service public à l'écoute des besoins décentralisés, percevant les données communes et fabriquant le produit adéquat. En ce sens mon souhait est que l'I.G.N. réponde à cet appel, et joue son rôle qui est d'aider une stratégie régionale dans son besoin d'une connaissance appropriée, pour une vue d'ensemble, permettant d'appréhender les phénomènes et servant d'aide à la décision des responsables politiques que sont les élus".

# "L'I.G.N. et la D.D.E."

*Alain VILLARET - Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées  
Directeur Départemental de l'Équipement des Bouches-du-Rhône*

J'ai, bien sûr, quelque plaisir à parler des relations entre les directions départementales de l'Équipement et l'Institut Géographique National, car la cartographie est partout présente dans nos actions, dans notre travail de tous les jours et l'I.G.N., par sa mission, sa technicité, ses compétences est pour nous un partenaire tout à fait privilégié.

Sur un plan général, il faut reconnaître que l'I.G.N. a fait toutes ces dernières années un effort méritoire pour se rapprocher des administrations locales. Il me semble que l'I.G.N. a su prendre un virage, effacer l'image qu'il donnait de lui, d'un établissement lointain, autoritaire, sûr de lui sur le plan technique, cher, ne respectant pas toujours ses délais, etc...

L'I.G.N. s'est implanté dans les régions, est au contact des clients, notamment de l'Administration, et cherche indiscutablement à satisfaire les besoins réels.

Les directions départementales de l'Équipement ont su trouver de leur côté un équilibre convenable entre les activités de l'I.G.N. et les activités des autres sociétés privées implantées dans la région.

Je n'aborderai pas dans cet article la cartographie liée aux projets d'infrastructures, notamment aux projets routiers.

Le problème est bien connu, il est classique et ne me paraît pas nécessiter de développements particuliers.

J'aborderai, par contre, assez longuement les problèmes liés à l'urbanisme et à l'occupation des sols. La cartographie est, dans ce domaine, essentielle, le choix des différentes techniques et des différentes échelles est difficile, il a des conséquences qui portent sur une longue durée de temps et tous les services de l'Équipement tâtonnent.

En outre, la décentralisation qui se profile à l'horizon va poser aux collectivités locales un problème redoutable, et le transfert des informations entre l'administration d'État et les Collectivités Locales nécessitera indiscutablement une bonne cartographie.

Je traiterai donc successivement des photos aériennes de la cartographie de base, des assemblages cadastraux, des techniques de pointe développées par la Ville de Marseille et, enfin, du repérage des permis de construire.

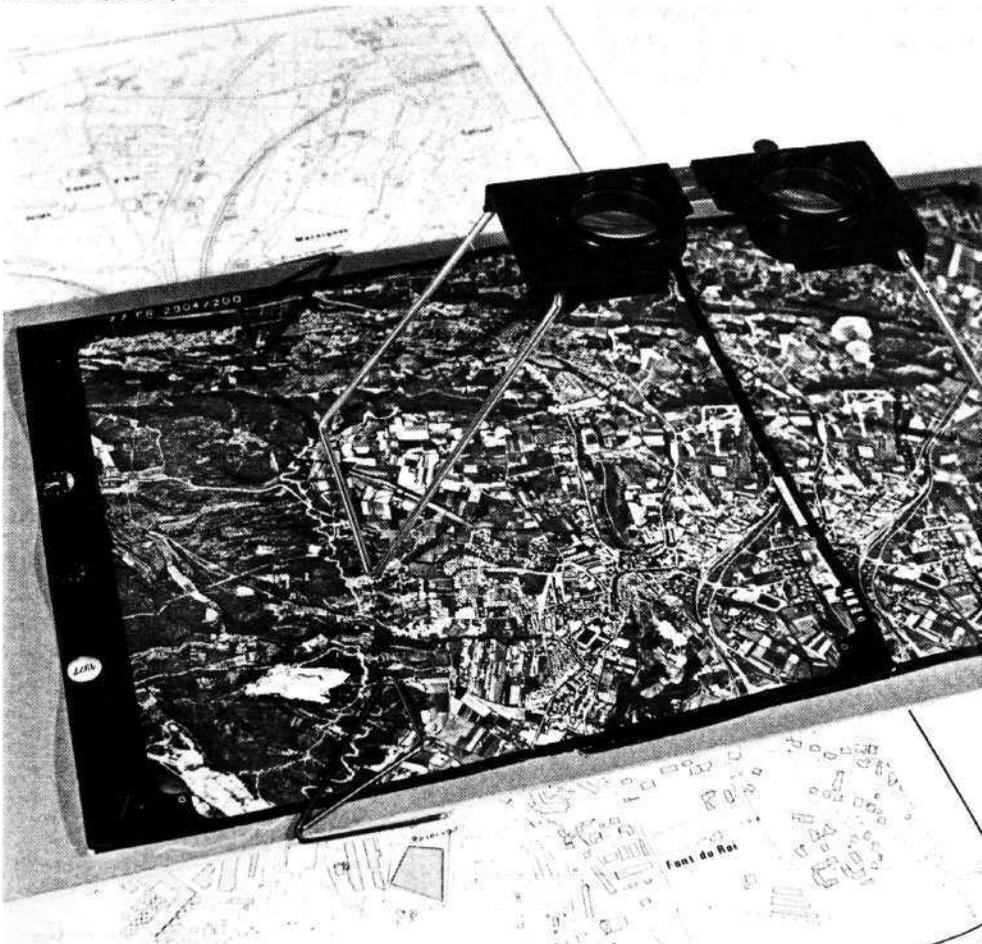
## 1) Les photos aériennes

Je défends depuis longtemps l'idée que des photos aériennes sont un outil indispensable, fondamental pour le métier que nous faisons.

Les photos ne coûtent pas cher. On peut les renouveler souvent, donc suivre l'évolution de l'occupation de l'espace, à condition d'avoir un minimum de connaissance pour les manipuler intelligemment.

On peut d'abord les agrandir et faire des assemblages, et obtenir ainsi de superbes documents couvrant, par exemple, l'ensemble d'une agglomération ; les maires sont très "friands" de ces documents.

*Stéréoscope de poche.*



On peut surtout observer les photos en stéréo.

Tout ingénieur, tout chargé d'étude d'urbanisme, devrait avoir dans sa poche le stéréoscope pliant permettant, pour un prix extrêmement modique, de regarder en relief des photos aériennes.

Je suis extrêmement frappé de voir à quel point le travail sur photos aériennes est un travail qui est très mal connu de la plupart de nos ingénieurs.

C'est pour remédier à cela que j'ai fait faire par l'I.G.N. des stages d'initiation et de formation. Ces stages, orientés sur la manipulation des photos aériennes et l'observation en stéréo, ont été très bien perçus par les agents de ma Direction.

Je suggère qu'une telle approche se fasse



environ 10 % du territoire ; le prix, bien sûr, est élevé : 40 à 75 F par hectare.

On prend quelquefois l'habitude de commander des agrandissements au 1/2 000 de cette carte de base ; l'agrandissement économique est celui qui est fait par photographie ; si on a un peu plus d'argent, on peut commander à l'I.G.N. des sorties spéciales d'ordinateur ; le graphisme est beaucoup plus satisfaisant, la localisation plus précise.

Dans le département des Bouches-du-Rhône, on a pu couvrir environ 12 % de la surface avec cette très belle cartographie. Il faut ensuite penser à la mise à jour. L'idéal serait de procéder à des mises à jour, tous les 4 ou 5 ans, de cette cartographie de base.

Dans le département du Var, l'I.G.N. et la D.D.E. ont passé un contrat pour que cette mise à jour soit faite approximativement avec des moyens simples sur le vu des couvertures aériennes faites régulièrement.

### 3) Assemblages cadastraux

On a bien sûr besoin de travailler à l'échelle de la parcelle, donc de travailler sur le cadastre.

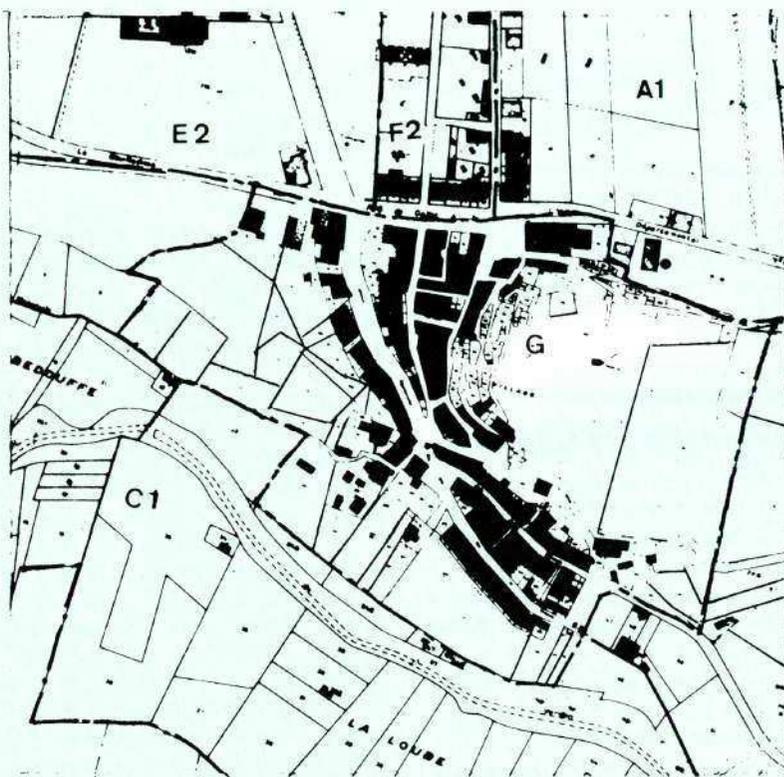
Essayant d'uniformiser à l'échelle du 1/5 000, comme pour la cartographie de base, on a pu obtenir les documents suivants :

— Assemblage cadastral particulier :  
C'est un assemblage au 1/5 000 des différentes planches cadastrales redressées et présentées sur feuilles normalisées. C'est un document très intéressant parce que très maniable et d'une présentation agréable ; le graphisme laisse quelquefois un peu à désirer, compte-tenu des réductions ou des agrandissements photographiques ; la précision est suffisante pour le travail d'urbanisme qui est le nôtre.

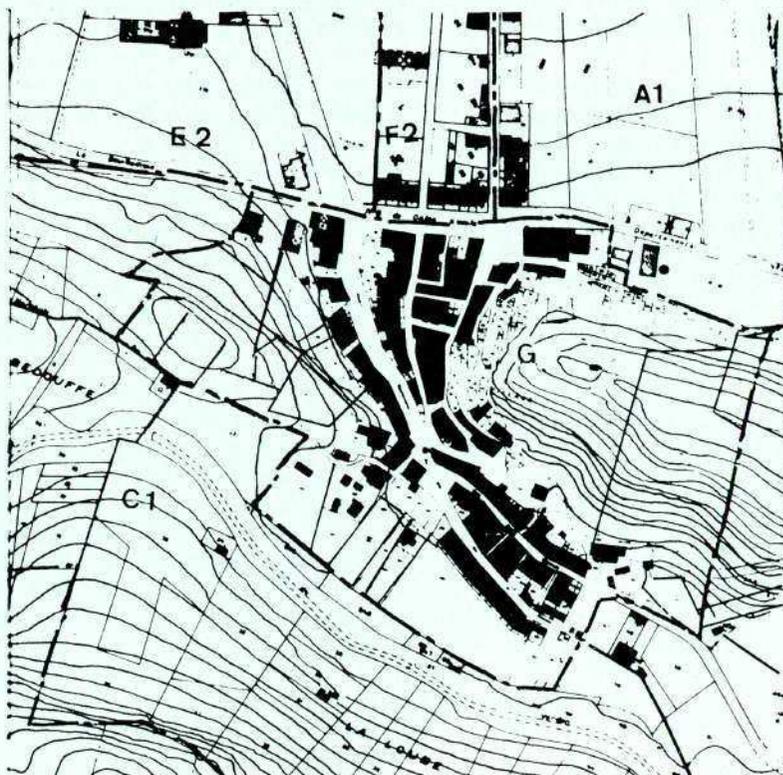
— Assemblage cadastral topographique :  
Il est obtenu en superposant l'assemblage cadastral précédent et l'altimétrie. Cette altimétrie peut provenir soit de la carte au 1/5 000 lorsqu'elle existe et le document est, alors, parfait, soit de l'agrandissement de la carte au 1/25 000 ; dans ce cas, le graphisme n'est pas très satisfaisant ; il nous est arrivé quelquefois de faire redessiner les courbes de niveau et la topographie, afin que l'ensemble soit un peu plus agréable.

### 4) Dans les zones à forte densité

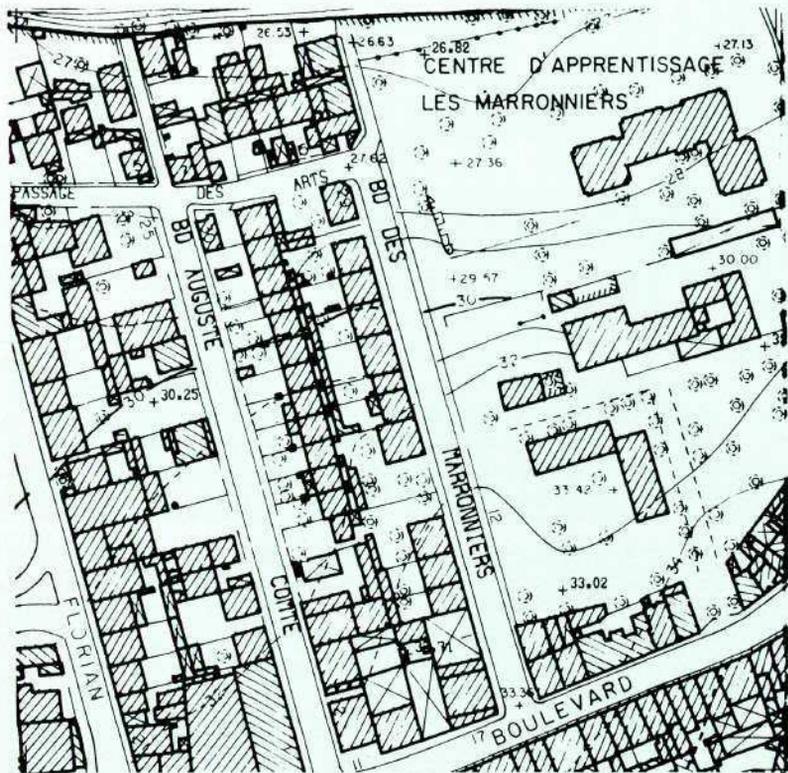
Dans ces cas là, le 1 : 5 000 est un peu insuffisant, et il faut chercher une meilleure précision.



4 — Assemblage Cadastral Particulier (A.C.P.)  
Echelle 1/5000



5 — Assemblage Cadastral Topographique (A.C.T.)  
Echelle 1/5000



6 — Carte topographique — Echelle 1/2000

Il y a, alors, deux écoles :  
ou bien faire des assemblages cadastraux à une échelle du 1 :2 000 (mais, là aussi, on retrouve quelques inconvénients sur le plan du graphisme lorsqu'il faut réduire des planches au 1 :500),  
ou bien travailler purement et simplement à l'échelle du cadastre.

## 5) Cas particulier de Marseille

La ville de Marseille s'est depuis une quinzaine d'années lancée résolument dans une technique originale et puissante, basée sur l'emploi massif de l'informatique.

Elle a pu ainsi couvrir l'ensemble du territoire de Marseille, produire et mettre à jour à la fois le cadastre et les plans topographiques à une échelle de précision de l'ordre de 1 :2 000.

Des sorties graphiques peuvent être faites en sept couleurs et à différentes échelles.

La technique est bien au point, les documents produits sont de très bonne qualité. Le système est très puissant puisque l'on peut profiter de tous les avantages que donne l'informatique en mémorisant le cadastre, les canalisations souterraines, le mobilier urbain, etc..., mais il faut rappeler qu'il repose sur un budget important.

## 6) Autres échelles

J'évoquerai rapidement une échelle que nous utilisons souvent, à savoir le 1 :10 000, produit souvent de l'agrandissement du 1 :25 000.

C'est un document intéressant pour présenter l'urbanisme dans les zones rurales quand on ne peut pas se payer du 1 :5 000.

## 7) Problème du repérage

C'est un problème difficile et complexe. Les instructions des permis de construire, certificats d'urbanisme etc... ont besoin de repérer sur le plan spatial tout ce qui se passe sur le territoire dont ils ont la charge.

Il faut pouvoir repérer le cadastre, il faut que des documents puissent servir longtemps, plusieurs années, il faut pouvoir porter les mentions des permis de construire, certificats d'urbanisme et lotissements, refusés ou accordés, il faut pouvoir retrouver les antécédents sur chaque parcelle, il faut pouvoir faire rapidement le pas-

sage entre le repérage et le zonage du plan d'occupation des sols, il faut pouvoir mettre au point une procédure de mise à jour chaque fois que le cadastre met à jour ses propres planches, il faut que l'ensemble soit manipulable, etc... etc...

Il n'y a pas de technique idéale et définitive. Tout le monde tâtonne dans son coin, chacun a son opinion sur le sujet. Le problème diffère d'ailleurs selon que l'instruction du permis de construire est ou n'est pas déconcentrée en subdivision ou dans certaine municipalité.

J'ai vu des plans de repérage qui dataient de plus de 25 ans, sur lesquels des générations de techniciens avaient reporté des données, gratté, corrigé etc... Ces documents étaient devenus quasiment illisibles, mais on n'avait pas les moyens de reporter toutes ces informations sur des supports nouveaux.

J'ai vu des systèmes de repérage dans lesquels on se servait d'un point considéré comme le centre de la parcelle ; on le repérait en coordonnées Lambert, et on se servait de celles-ci pour chercher les antécédents dans un fichier.

J'ai vu, enfin, des systèmes qui utilisaient toutes cartes à toutes échelles.

Je pense, à la réflexion, qu'il vaut mieux travailler sur le cadastre, soit sur les feuilles directes du cadastre (mais cela en fait beaucoup pour une commune), soit sur un cadastre partiellement redressé et réduit, à une échelle convenable.

Nous envisageons dans le Département des Bouches-du-Rhône de généraliser des documents cadastraux à échelle du 1/2 000 pour être facilement manipulables.

La coexistence dans un même service de P.O.S. dessinés sur des assemblages cadastraux topographiques au 1/5 000 et de plans de repérage sur des feuilles cadastrales normalisées au 1/2 000 constituerait un excellent outil pour la conception et l'application du droit des sols.

A l'heure de la décentralisation, au moment où nous allons devoir passer une bonne partie de nos connaissances et de notre savoir-faire vers les collectivités locales, ou mettre notre savoir-faire à leur disposition, il est urgent et fondamental de faire un effort dans ce domaine.

Donnons aux élus locaux l'image d'une Administration moderne, méthodique, bien organisée, utilisant des techniques modernes, travaillant sur des documents propres, à jour, consciente qu'un bon travail ne peut se faire que sur de bons documents.

# La télédétection, un outil d'aménagement de plus en plus performant

par Patrice FOIN,  
Ingénieur-Géographe IGN  
(Chef du département de télédétection et cartographie spatiale)

Les techniques d'aménagement mettent en jeu une approche de plus en plus globale qui utilise un nombre croissant de paramètres sur des zones étendues. L'aménageur d'aujourd'hui ne peut donc plus se contenter de sa "vision terrestre" des phénomènes, même si l'utilisation de plans vient la compléter en une approche plus synoptique. La mise en œuvre des techniques de télédétection, qui utilisent des capteurs variés, portés par des avions ou des satellites peut seule lui procurer cette appréhension synthétique qui lui est nécessaire. Bien plus, il disposera ainsi d'un outil beaucoup plus performant que les méthodes classiques pour se procurer toutes les informations dont il a besoin, au premier rang desquelles se placent des données humaines et environnementales si difficiles à cerner par d'autres procédés.

## I — La télédétection une manière différente et plus objective d'appréhender la surface de la terre

Comme son nom l'indique, la télédétection consiste à prendre du recul pour observer

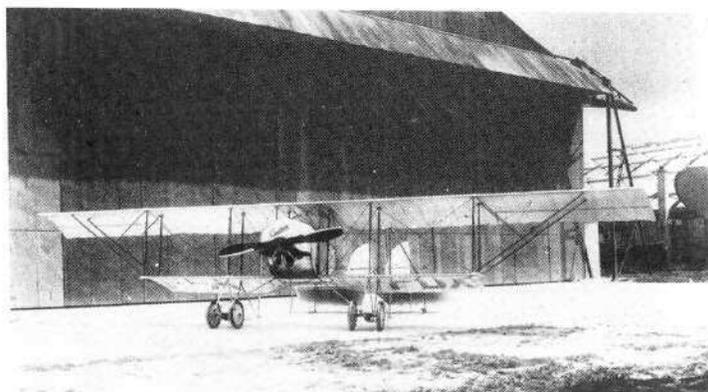
les phénomènes ("télé") et à utiliser des détecteurs (ou capteurs) qui peuvent enregistrer des informations accessibles ou non à l'œil humain ("détection"). Le premier capteur a bien entendu été l'appareil photographique et la première opération de télédétection a consisté à faire quitter la surface de la terre à celui-ci. Historiquement, le précurseur fut donc Nadar lors de son ascension en ballon de 1858. En fait, les premières réalisations de grande envergure ont été autorisées par la photographie systématique de vastes territoires, à partir d'avions. En France, par exemple, la totalité du territoire est couverte par des vues verticales avec recouvrement stéréoscopique depuis 1950 et ces données encore disponibles présentent un intérêt historique considérable. Leur constant renouvellement permet d'offrir aux utilisateurs des images toujours d'actualité et de discerner les diverses phases de l'évolution du territoire. A cette époque le mot "télédétection" n'était pas encore créé et l'on parlait tout simplement de photointerprétation. On en parle encore car cette discipline qui est englobée dans le vocable "télédétection" est toujours à l'honneur et voit le champ de ses applications s'étendre régulièrement grâce à de nouvelles recherches.

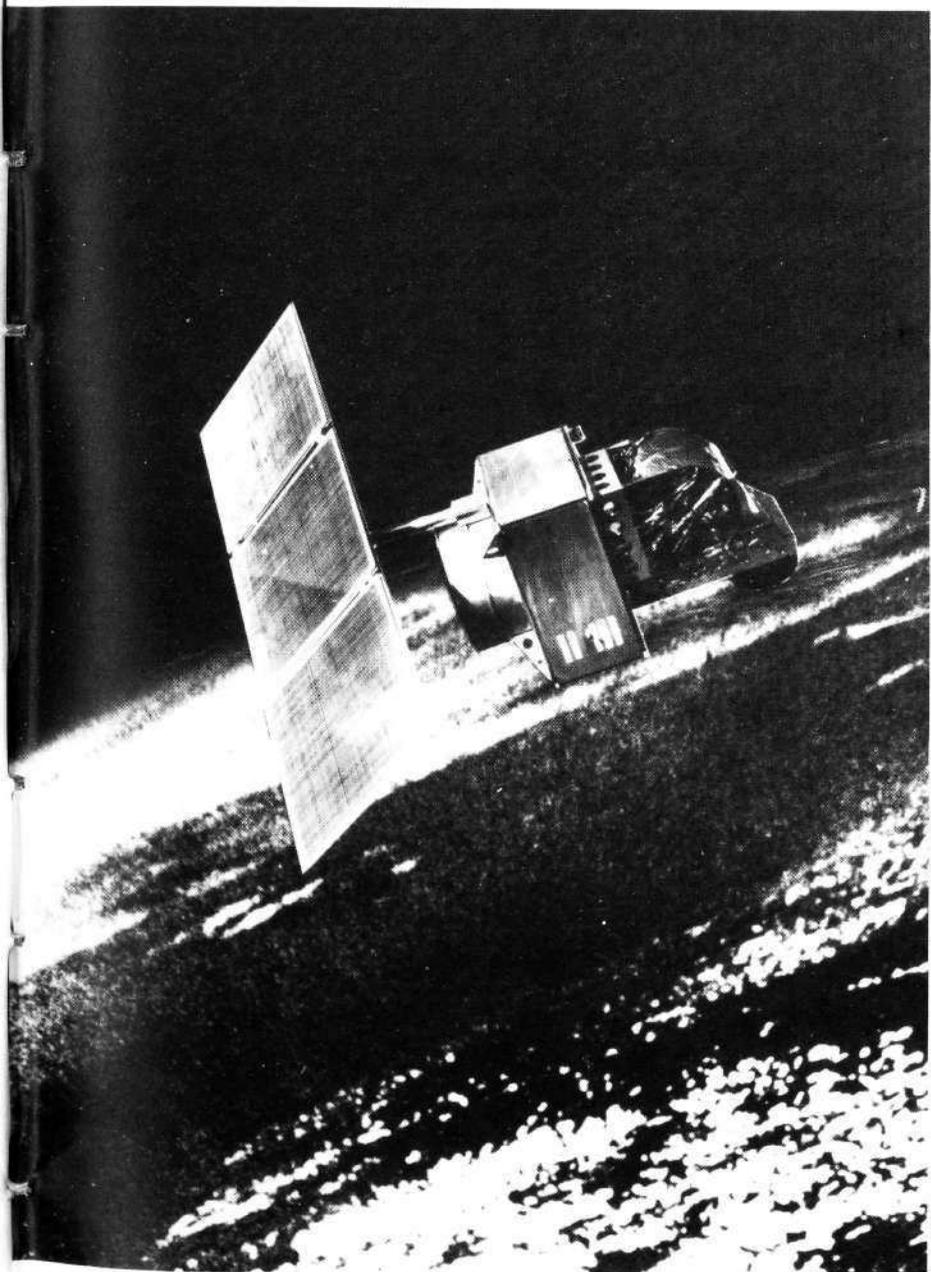
A partir de la photo-interprétation, trois voies de développement se sont conju-

guées pour conduire à l'état actuel. Elles correspondent aux trois volets de tout travail de télédétection.

— Faisant suite aux premiers avions, de nouveaux vecteurs ont été utilisés : avions plus performants, hélicoptères, ballons, fusées pour aboutir à l'emploi de satellites d'observation de la terre dont le premier (ERTS 1 rebaptisé LANDSAT 1 depuis) a été lancé en 1972. Ces satellites américains, dont le 2<sup>e</sup> et le 3<sup>e</sup> exemplaire continuent à envoyer des informations, enregistrent des "scènes" de 185 km avec une zone élémentaire ou pixel (1) de 80 m x 60 m. Quatre longueurs d'onde (3 dans le visible et une dans le proche infra-rouge) sont ainsi enregistrées. Le satellite français SPOT

*Du dirigeable au satellite en passant par l'aviation, l'homme pratique la télédétection à distance depuis qu'il a appris à prendre du recul pour embrasser l'ensemble d'un phénomène.*



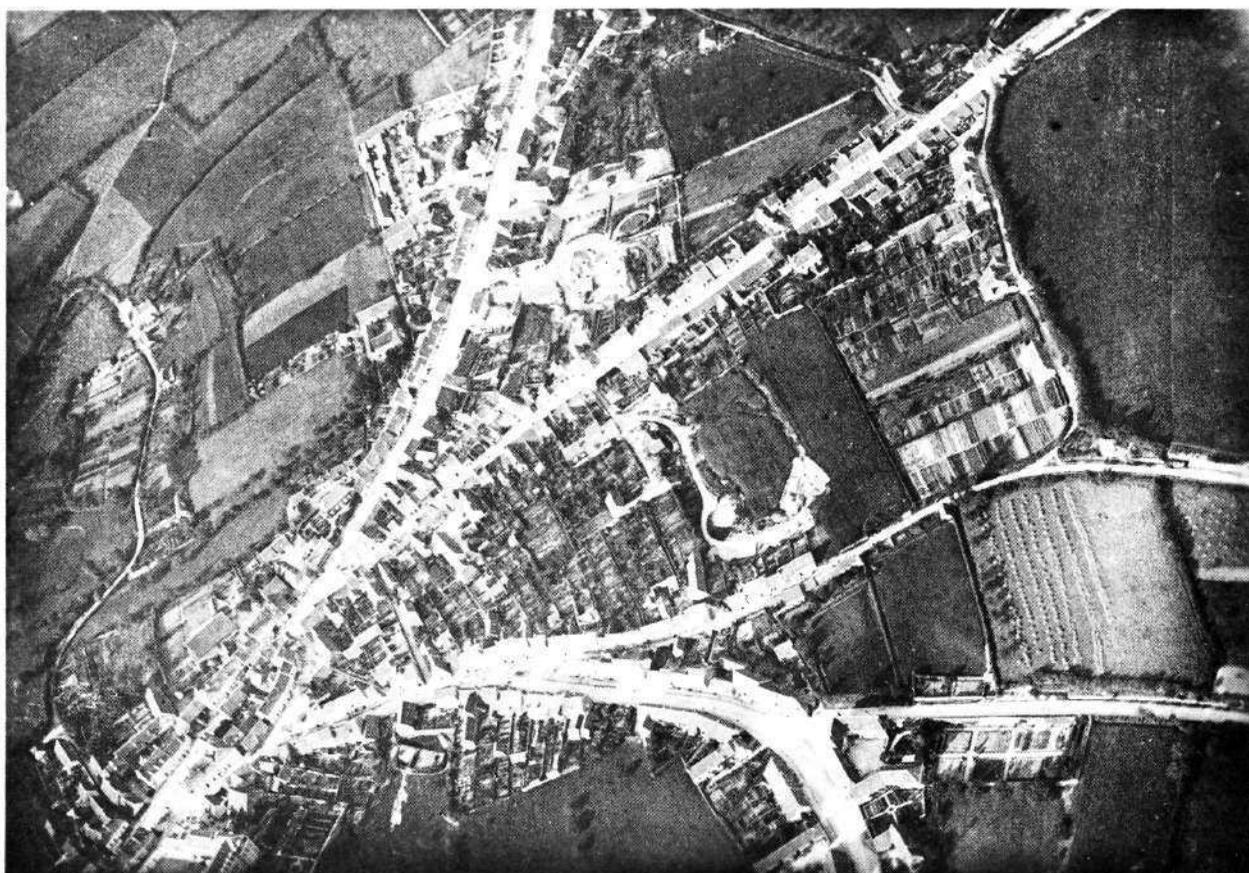


dont le lancement est prévu pour 1981 présentera quant à lui une finesse plus grande (10 m x 10 m en mode panchromatique et 20 m x 20 m avec 3 longueurs d'onde) et sa possibilité de pointé latéral autorisera une répétitivité plus grande (2 à 3 jours suivant les zones) et une vision stéréoscopique des images.

— Les développements des capteurs ont commencé par l'utilisation de nouvelles émulsions : après le panchromatique initial (noir et blanc) sont venus la couleur puis l'infra-rouge noir et blanc et l'infra-rouge couleur encore appelé "fausse couleur". De nouveaux capteurs ont également été créés. Les scanners, ou radiomètres à balayage, permettent d'enregistrer l'information en provenance du sol, dans des longueurs d'onde variées situées dans le visible, le proche infra-rouge ou l'infra-rouge thermique. Cette dernière possibilité qui permet presque d'obtenir une image thermique du sol (thermographie) est utilisée à des fins civiles depuis les années 1970 et débouche sur de nombreuses applications pratiques. Les radars latéraux ont également été utilisés vers la même époque et leur intérêt principal est de "voir à travers les nuages de jour comme de nuit", avantage inappréciable en zone équatoriale notamment. Traditionnellement, on limite la télédétection aux ondes électromagnétiques de longueur d'onde supérieure à l'ultra-violet si bien que nous ne parlerons pas ici d'autres détecteurs surtout utilisés en géologie (magnétisme, radio activité etc...)

— Le troisième volet de la télédétection est constitué par l'interprétation dont nous n'avons pas parlé jusqu'ici. C'est pourtant le point fondamental qui valorise les deux premiers. Soulignons au passage l'importance de garder à ce niveau un lien avec le terrain et le problème concret que l'on est en train de traiter. Trop fréquente a été l'erreur consistant à penser qu'un satellite et un ordinateur sont des machines suffisamment coûteuses et sophistiquées pour produire sans aide le bon résultat pour que nous omettions de le signaler. Les progrès de l'interprétation ont consisté d'une part à mettre au point des méthodes pour extraire de l'image de télédétection des informations nouvelles, d'autre part à informatiser les processus. A l'heure actuelle, seules les images fournies par des scanners (et notamment les images de satellite) sont susceptibles d'être traitées automatiquement. Il n'est pas exclu qu'il en soit de même pour les photographies aériennes dans un avenir encore assez lointain.

(1) pixel = "picture element". Tache élémentaire dont est composée une image de scanner.



la première photo aérienne connue, prise par Nadar en 1836 (Bellême, Orne).

Tous ces développements ont conduit à l'ensemble encore très évolutif que constitue la télédétection d'aujourd'hui, technique et non science, mais technique aux applications multiples et riches d'avenir.

## II — Les filières de production de la télédétection

Trois grandes filières sont actuellement en pleine production.

La photo-interprétation est la plus ancienne mais elle est encore trop souvent ignorée, au niveau local surtout. Dans de nombreux cas, elle permet de réduire les coûts d'étude dans une proportion très importante tout en rendant accessible des informations qui ne l'auraient pas été par d'autres moyens. Le temps de passage sur le terrain peut notamment se trouver diminué par dix ou plus.

L'utilisation de la thermographie connaît deux grands domaines d'application :

— dans celui de l'eau, elle permet d'obtenir une véritable carte des températures des eaux superficielles à un ou deux dixièmes

de degré près. On peut ainsi obtenir des renseignements sur les rejets, résurgences, courants, etc...

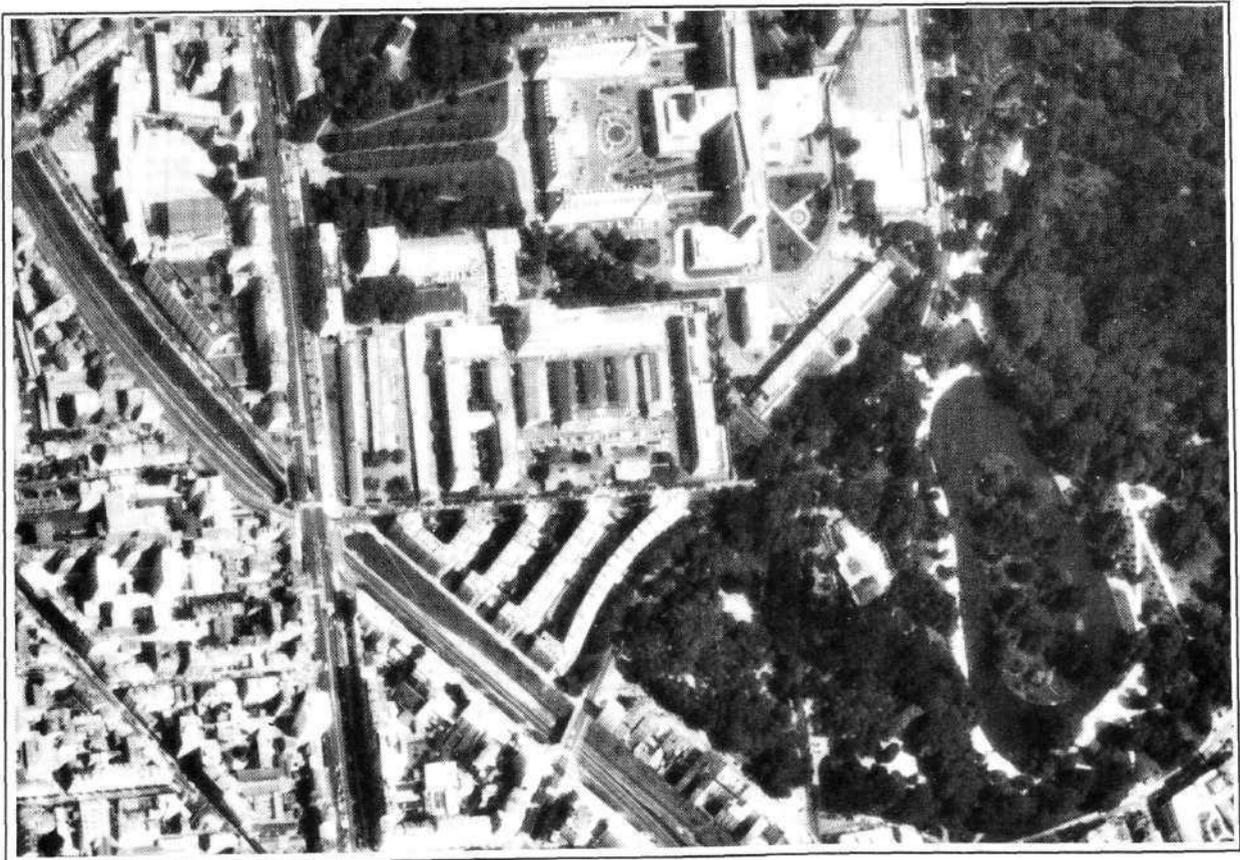
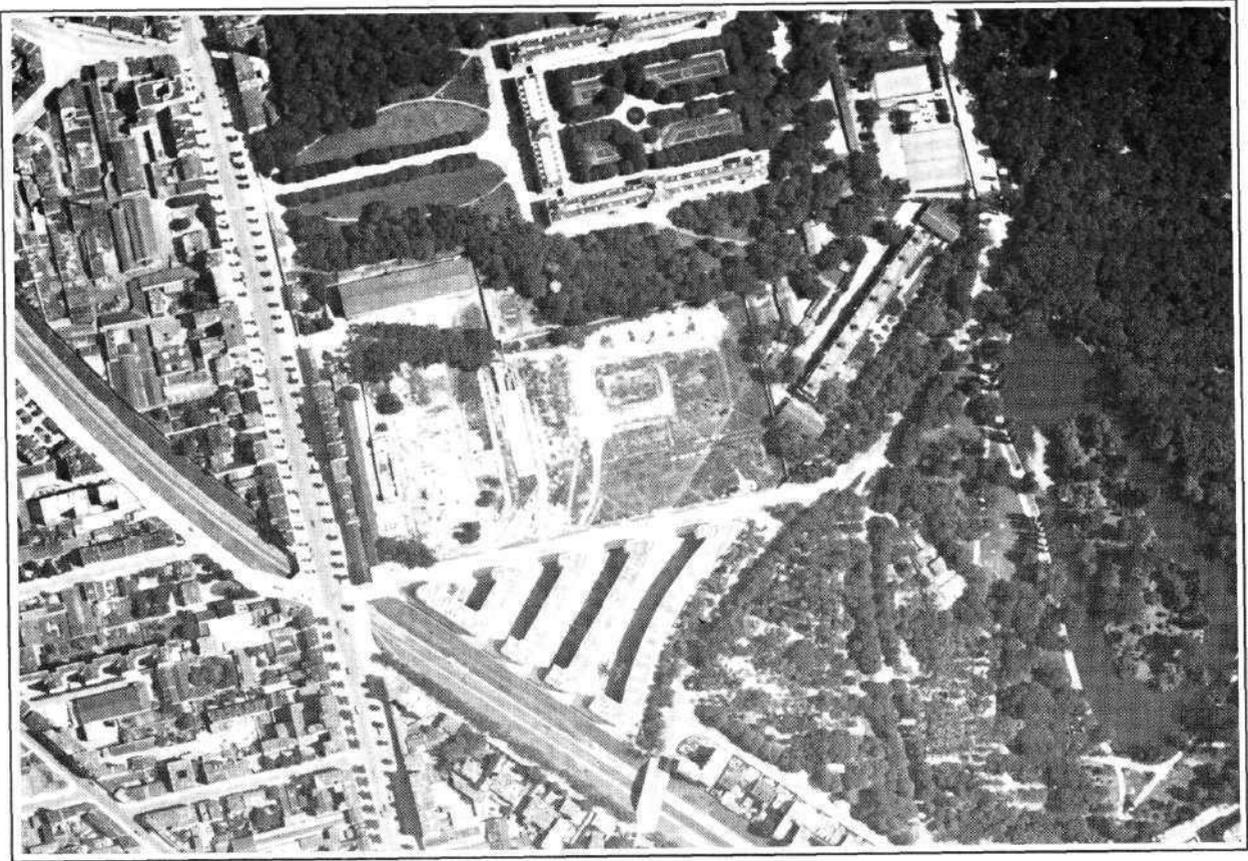
— sur le sol, la connaissance de l'émission dans l'infra-rouge thermique donne accès à une fonction de la température et de l'émissivité des éléments concernés. Cette donnée peut être utilisée pour rechercher les déperditions thermiques et par exemple les défauts d'isolation des toitures en milieu urbain.

l'interprétation des images de satellite et tout particulièrement de Landsat se fait généralement par ordinateur. Les traitements peuvent consister en :

- des corrections géométriques qui remettent l'image dans le système de représentation d'une carte.
- des mosaïques par ordinateur pour raccorder entre elles des images sans que le raccord soit visible.
- des compositions colorées avec amélioration du contraste qui permettent de constituer des spatio-cartes très intéressantes en particulier en zone aride ou semi-aride.
- des classifications et d'autres traitements sophistiqués qui constituent une véritable

interprétation semi-automatique, un opérateur connaissant le sujet à traiter devant guider la machine voire dialoguer avec elle. Ces classifications dont nous donnerons des exemples ci-après permettent d'obtenir des cartes d'occupation du sol ou d'extraire certains thèmes. Elles ont avec Landsat une valeur statistique indéniable mais la taille de la tache élémentaire (pixel) enregistrée par le satellite ne permet guère d'espérer un pourcentage de réussite supérieur à 80 % sauf dans certains cas particulièrement favorables. Les 20 % d'incertitude proviennent en grande partie des pixels composites, c'est-à-dire à cheval sur plusieurs thèmes différents.

*La photographie aérienne fut le premier document utilisé en télédétection. On voit en haut la photographie prise en 1936 du site où sera implanté l'IGN et le même site en 1981. Les archives de photographies aériennes contiennent des documents dont certains ont plus de 50 ans.*



### III — Exemples de travaux de télédétection réalisés à l'IGN

La première et la plus générale des utilisations de la télédétection consiste dans les **grandes cartographies d'inventaire**. A l'heure actuelle, ces cartographies tendent à s'effacer ou à ne plus être qu'un sous-produit de **banques de données** dont tout ou partie proviennent de la télédétection. En France la réalisation de l'inventaire permanent du littoral pour le compte du Comité Interministériel pour l'Inventaire du Littoral (IPLI) a lieu par photo-interprétation. L'ensemble des 147 feuilles au 1/25 000 de la première génération a été photo-interprétée en deux ans et couvre la totalité du littoral français.

L'informatisation du processus de rédaction constitue une base de données qui permettra le suivi de l'évolution.

Dans le même ordre d'idées, l'IGN enrichit actuellement sa banque de données topographiques avec les contours des forêts obtenus à partir des images Landsat. L'ordinateur et le satellite constituent en fait les outils les plus susceptibles de tenir à jour cette information simple à définir mais lourde à collecter.

**Les études préparatoires à de grands équipements ou aménagements** sont très variées. Elles vont de la réalisation de "spatio-cartes" nécessaires aux travaux de reconnaissance en pays neuf (tracés routiers ou autoroutiers, prospection minière et pétrolière etc...) jusqu'à des photo-interprétations de détail : par exemple celles qui vont fournir une carte très détaillée d'occupation des sols, destinée à estimer les effets des expropriations liées à un tracé autoroutier, ou celles ayant pour but de calculer le diamètre des émissaires par étude des coefficients de ruissellement en zone urbaine.

Une place à part doit être réservée aux **cartographies d'évolution**, trop méconnues et qui permettent pourtant de connaître les effets des aménagements avec une vision synthétique peu accessible par d'autres moyens. Dans le même domaine des études d'évolution, un travail récent a été réalisé sur l'évolution de certaines zones du cours de la Loire, en vue d'aménagements.

**La recherche de résurgences d'eau douce** constitue une application un peu particulière aussi bien en pays aride (l'IGN a monté en 1981 une importante opération aux Iles du Cap Vert) qu'en pays industrialisé pour lesquels l'eau douce devient une denrée de plus en plus rare (les sources découvertes par l'IGN vers les années 1970 devant les falaises du pays de Caux servent actuellement à alimenter la ville du Havre).

Ces recherches, réalisées grâce à la thermographie, économisent un temps de prospection considérable, même si elles ne prétendent en aucun cas se substituer aux études hydrologiques complémentaires et indispensables.

C'est peut-être dans le **domaine agricole** que la télédétection est encore la moins utilisée et la plus riche d'avenir : les grands projets d'identification de cultures et de prévision de récoltes à l'aide d'images de satellites font certes partie du futur envisageable mais c'est l'utilisation de la simple photo-interprétation qui se développe actuellement. Celle-ci permet en effet d'appréhender sur de vastes zones les aménagements à effectuer pour améliorer le rendement des sols ou pallier des évolutions catastrophiques. Des méthodes sont actuellement en cours de mise au point à l'IGN pour déterminer les zones à drainer d'une part, les zones victimes d'érosion catastrophique d'autre part. Premier pas vers une meilleure connaissance des productions, des inventaires légumiers nous ont été demandés dans de nombreux départements français. Dans les pays en voie de développement, la télédétection permet également de connaître les potentialités d'aménagement et d'avoir une idée du volume prévisible des récoltes. A titre d'exemple, plusieurs interventions de l'IGN ont eu lieu au Niger dans le cadre du projet "onchocercose" qui nécessite de réaménager des terres agricoles dans les régions où cette terrible maladie a régressé.

L'utilisation de la télédétection en matière de **forêts** est particulièrement importante. Signalons au passage le travail du Service de l'Inventaire Forestier National (I.F.N.) du Ministère de l'Agriculture qui réalise son inventaire sur l'ensemble du territoire français, avec une périodicité de 10 ans en utilisant abondamment la photo-interprétation d'images aériennes à grande échelle. L'IGN quant à lui a réalisé des inventaires des zones incendiées dans l'année à partir d'images de satellites, ce qui augmente l'objectivité et réduit les délais (2 mois environ après les incendies). De telles études ont été réalisées pour le compte et en collaboration avec l'OPIT (Opération Pilote Interministérielle pour la Télédétection) en 1978 et 1979. L'utilisation de photographies en fausse couleur permet par ailleurs de mettre en évidence les maladies des végétaux. Des arbres atteints par des pollutions fluorées ont ainsi pu être dénombrés.

Ce dernier exemple nous amène au suivi de **l'impact des équipements sur l'environnement**. Dans ce domaine, l'IGN assure notamment pour le compte d'EDF le suivi des rejets d'eau chaude de très nombreuses centrales, nucléaires ou non. Seule la thermographie fournit ainsi une image bidimensionnelle et instantanée de la tache thermique du rejet d'une centrale. Bien d'autres inventaires de rejets ont également été réalisés car la thermographie permet de localiser les points de rejets qui ne sont jamais à la même température que le milieu ambiant, même s'il ne s'agit pas de pollution thermique.

La télédétection apporte également beaucoup à la **prévention et à l'étude des catastrophes naturelles ou causées par l'homme**. Au titre de la prévention, citons les cartes de localisation probable des **avalanches** que l'IGN établit depuis plus de 10 ans pour le compte du CEMAGREF de Grenoble. Plus de 600 000 hectares ont ainsi été couverts. La photographie aérienne et la thermographie autorisent également de suivre les **nappes polluantes**, notamment lors du naufrage de l'Amoco Cadiz et lors de la catastrophe d'Ekofisk. La réalisation d'une prise de vues lors **d'inondations** (si la météo est favorable) fournit l'étendue des zones atteintes.

On pourrait ainsi multiplier les exemples en une liste fastidieuse, mais nous avons d'autant moins de prétentions à l'exhaustivité que de nouveaux types de problèmes sont examinés et traités chaque année.

Dire **en conclusion** que la télédétection constitue un nouvel outil d'aménagement serait faible car c'est réellement sur une nouvelle dimension que l'homme débouche à travers elle. Dépassant les considérations techniques, nous nous arrêtons sur les implications presque philosophiques que cette nouvelle vision du monde comporte. En effet, ce sont les concepts même que nous considérons comme définitivement acquis de notre point de vue de terrien qui vacillent : des termes aussi simples que zone urbaine, forêts, landes peuvent voir leur définition remise en cause alors que des phénomènes géologiques de grande amplitude sont mis en évidence et que des séparations parmi des associations végétales que l'on considérait comme élémentaires apparaissent sous forme d'écofacies. C'est là bien sûr un facteur de progrès scientifique tout comme les exemples de travaux que nous avons vu précédemment constituent un progrès considérable aussi bien du point de vue financier que de celui de la simple efficacité. Les nouveaux satellites ne pourront qu'accentuer cette évolution et nul ne peut prévoir toutes les nouveautés qu'ils nous feront découvrir.

# Énergie et environnement

par Jean-Claude LUMMAUX - Ingénieur géographe IGN  
Chef de la division de traitement d'image  
Serge SOUDOPLATOFF - Ingénieur géographe IGN

La conjoncture actuelle a mis en évidence les liaisons, parfois conflictuelles, entre les problèmes liés à l'exploitation des ressources énergétiques et à la protection de l'environnement, tant pour la recherche des "énergies douces" que pour l'impact des grands équipements.

La télédétection permet d'accéder à une connaissance précise du milieu naturel qu'il s'agisse de son état instantané ou du suivi de son évolution. C'est un élément important d'une stratégie de l'environnement pris dans son sens le plus large.

## a - La gestion des ressources naturelles

Le problème des ressources énergétiques se pose sous deux aspects complémentaires auxquels la télédétection peut apporter une aide décisive :

— la recherche de gisements nouveaux de type classique : pétrole, charbon..., ou nouveaux : biomasse, énergie solaire

— la gestion des sources traditionnelles et leur maintien en état.

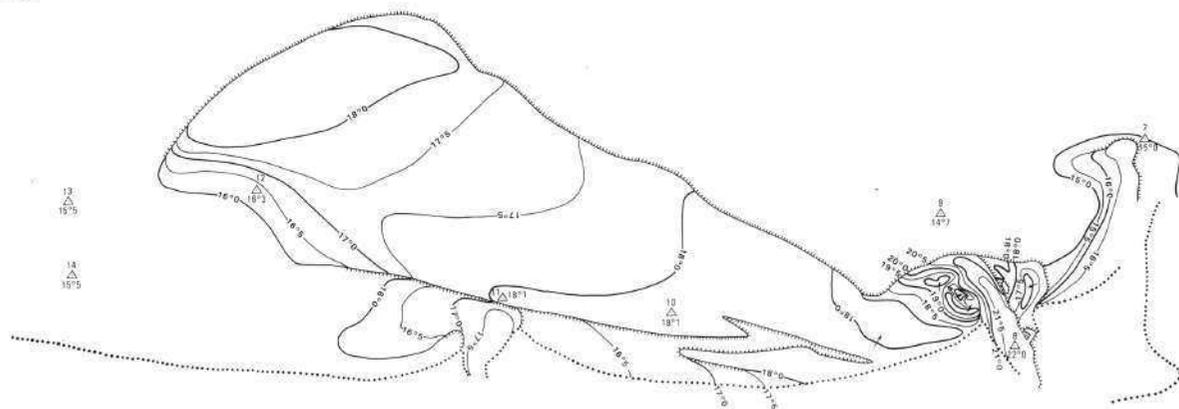
Limiter les problèmes énergétiques à l'énergie nécessaire à la production industrielle, c'est limiter le problème aux pays les plus riches et oublier que dans les pays les plus pauvres, la consommation des sources traditionnelles (bois de feu, charbon de bois, déchets animaux) représente 70 % de la consommation totale\*.

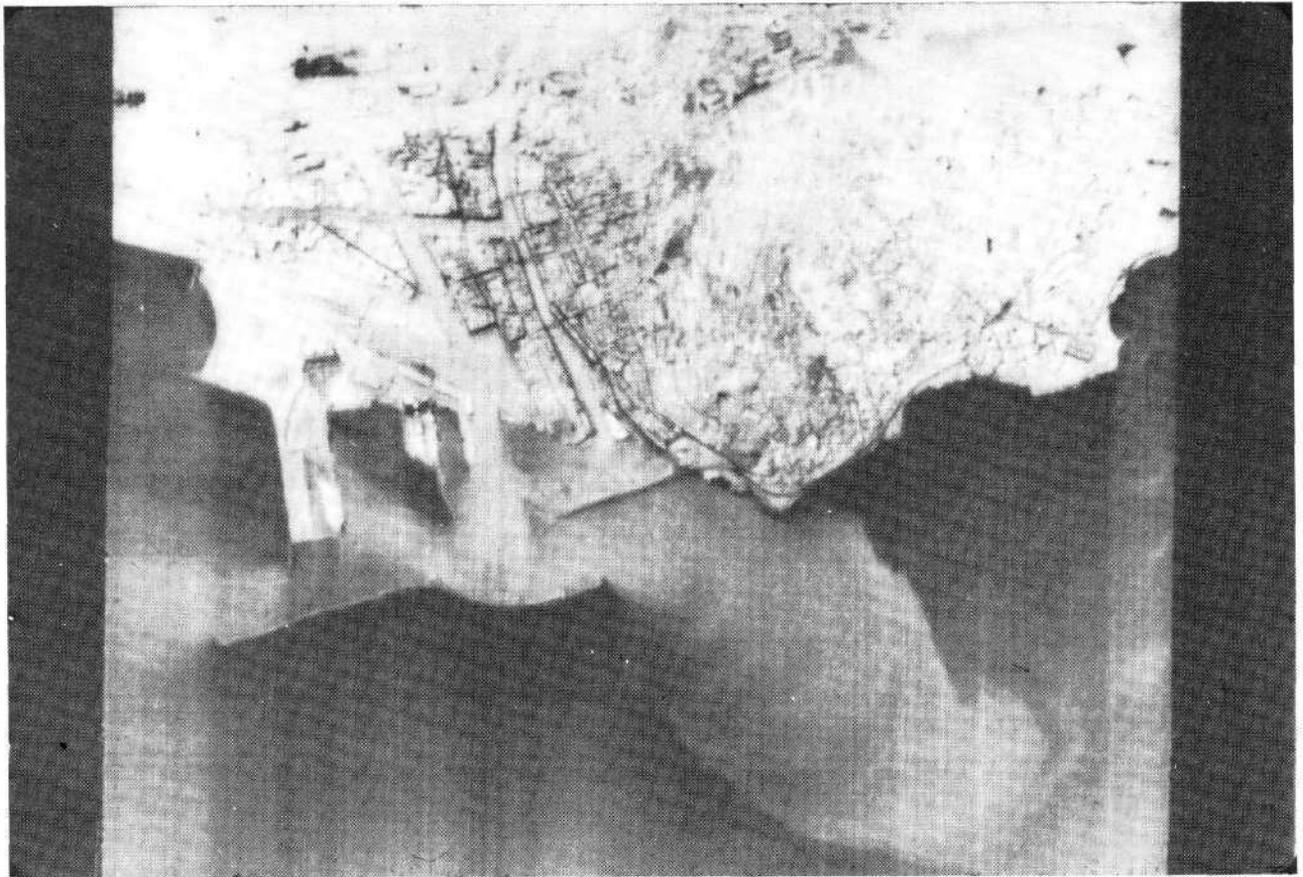
C'est ainsi que l'exploitation de la forêt conduit à des déboisements annuels de 10



1 — L'électricité de France a confié à l'Institut Géographique National, aux abords des centrales nucléaires, au fur et à mesure de la mise en service des différentes tranches, la surveillance de la modification de la température, provoquée à la surface des eaux par les rejets des émissaires de refroidissement (aux différents cycles de marée pour les eaux de mer, ou cycles saisonniers pour les cours d'eau).

Grâce à un scanner analogue fonctionnant dans l'infrarouge thermique il est procédé à des enregistrements aéroportés au-dessus des effluents. Les enregistrements sont transformés en films sur lesquels les différences de rayonnement thermique sont reproduites dans une gamme de gris (du gris foncé au gris clair). Une corrélation entre tons de gris et températures réelles est alors établie. Il en résulte une carte isothermique, constat fidèle de la situation thermique de surface et des limites des effluents.





2 — Emissaire urbain de grand débit (Port de Sète - 1970).

à 15 millions d'hectares\*, sans contrôle, déboisements augmentant dangereusement les risques d'érosion et de désertification et que l'utilisation des déchets animaux correspond à 2 millions de tonnes d'azote et de phosphate\* perdus pour l'agriculture. La substitution à ces combustibles traditionnels de dérivés du pétrole entraînerait une augmentation de 15 à 20 % de la demande.

Il apparaît donc que en ce domaine, l'amélioration de la situation passe avant tout par une meilleure gestion de la forêt et un reboisement systématique pour rattraper le retard pris et maintenir le volume nécessaire (50 millions d'hectares à planter d'ici l'an 2000 dans les pays en développement).

Deux actions sont donc à mener, actions dans lesquelles la télédétection est un outil indispensable :

a) constat de la situation actuelle mettant en évidence les zones à défrichements importants, la régression de la forêt et les zones d'érosion intense pour définir les points d'intervention prioritaires.

b) détermination des lieux propices aux reboisements. Les archives disponibles tant en photos aériennes qu'en images satellites permettent en effet de dresser un bilan historique de l'exploitation humaine. L'ana-

lyse de ces documents permet de plus une étude synthétique pédologique hydrologique et agronomique de ces zones permettant la mise en œuvre d'une politique rationnelle de reboisement.

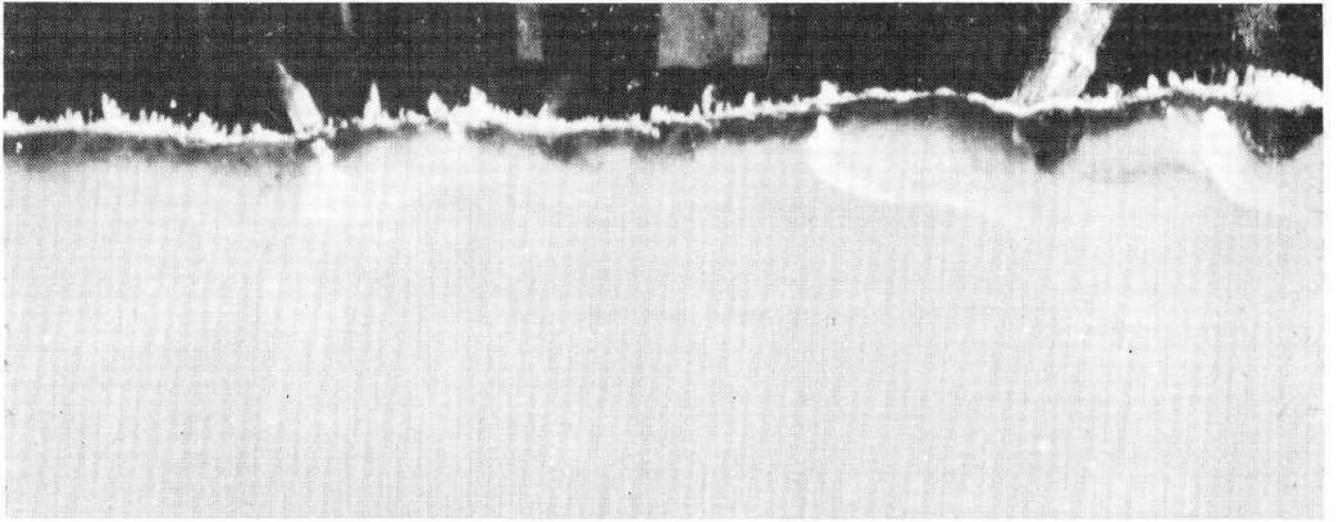
Cette même analyse est bien évidemment valable pour les formes d'utilisation plus sophistiquées de cette réserve énergétique qu'est la biomasse (alcool ou méthane).

L'utilisation de la télédétection dans les études sur les énergies renouvelables se présentera généralement sous ces deux aspects, constat de l'état du "gisement", recherche des sites les plus favorables. Elle offre en ces domaines la possibilité du suivi périodique du fait tant de la documentation existante que des possibilités de recueil régulier d'informations, des possibilités de vision globale permettant de prendre en compte les équilibres naturels à l'échelle régionale, enfin des mesures multispectrales par lesquelles il devient possible d'accéder à des phénomènes physiques difficilement mesurables par ailleurs qu'il s'agisse de bilan thermique ou de l'estimation de la biomasse utilisable. Les données de satellites météorologiques peuvent apporter beaucoup par exemple à l'étude des gisements solaires, les photos aériennes permettent d'étudier l'implantation de barrages pour les micro-projets hydrauliques.

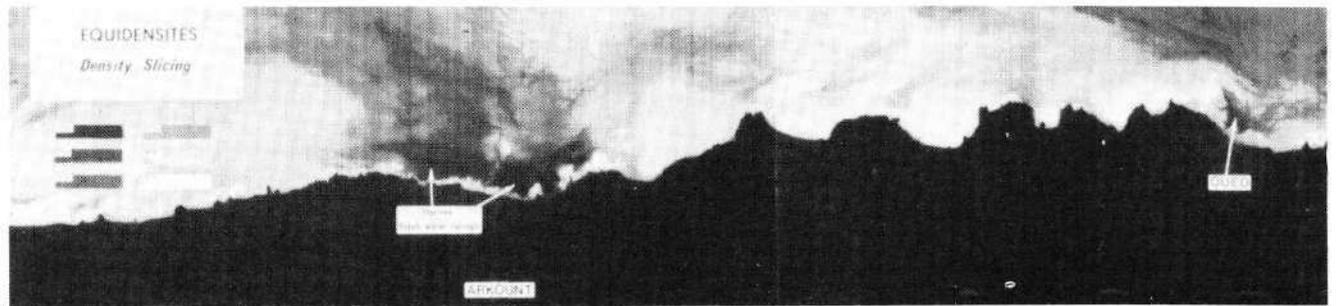
Pour ce qui est des ressources énergétiques classiques, la télédétection est depuis longtemps apparue comme un outil important de la prospection et de l'exploitation. Les satellites d'observation de la terre du type de Landsat ont mis à la disposition des prospecteurs des données uniformes sur l'ensemble des terres émergées et donc ont permis une analyse préalable aux missions de recherche sur place dans des zones difficiles d'accès. L'analyse de la structure apparente sur images satellites et l'étude des aspects proprement géologiques permettent ainsi de définir des zones où les chances de réussite sont fortes.

La télédétection est donc un outil précieux dans la recherche et la gestion des sources énergétiques ; nous allons voir maintenant qu'en aval elle permet de contrôler l'impact sur l'environnement des grands équipements énergétiques et de définir les zones d'aménagements.

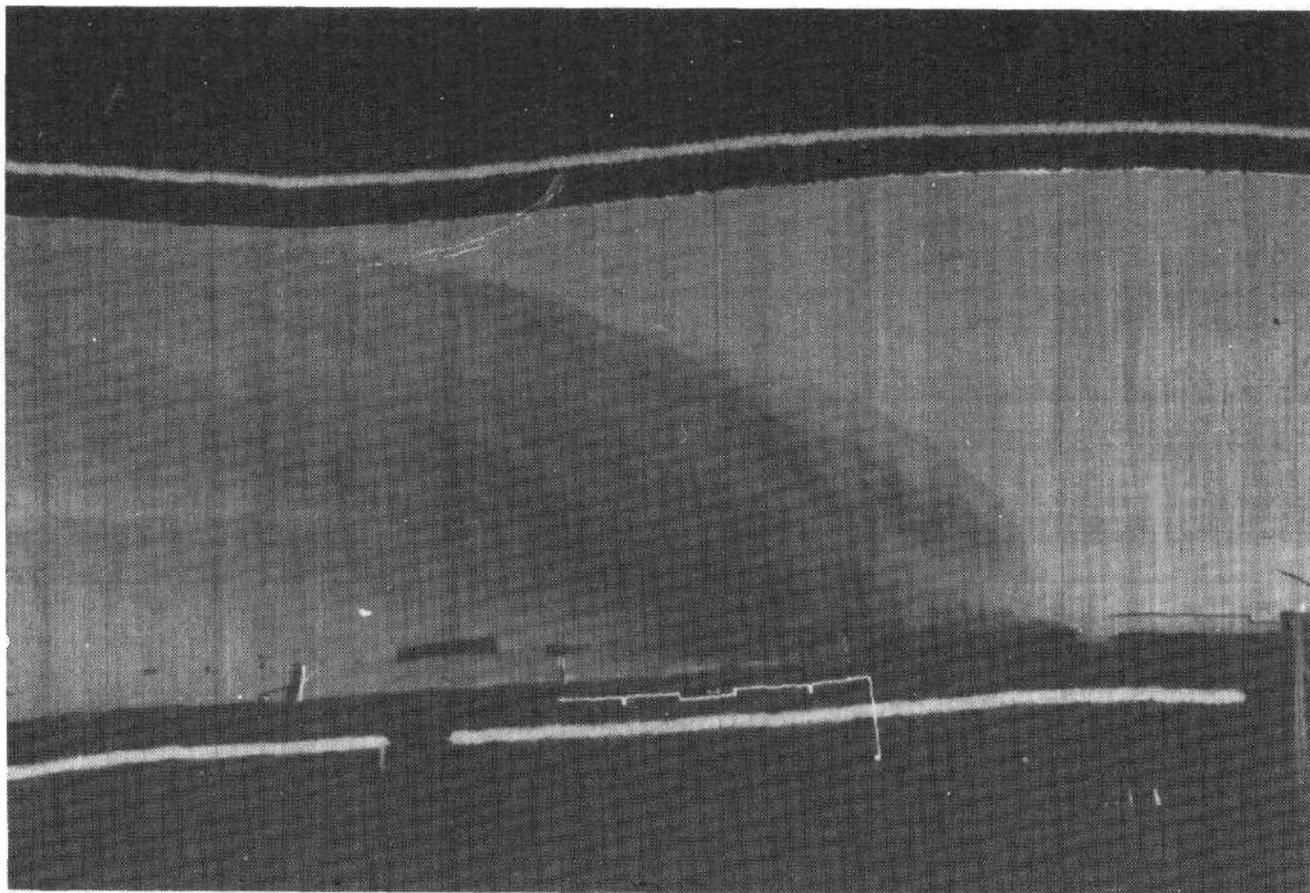
\* Source : l'énergie dans les pays en développement. Banque Mondiale Août 1980.



3 — Les rejets plus froids sont parfaitement visibles (Pays de Caux).



4 — Un traitement en équidensité permet de mieux individualiser les sources (Maroc).



5 — Panache de centrale EDF en site fluvial.

## b - Etudes d'impacts

La télédétection va intervenir à trois niveaux : au niveau des "catastrophes" (pollutions accidentelles ou permanentes), au niveau du suivi du fractionnement des équipements et de la gestion de la consommation, enfin au niveau de la définition des zones à protéger. Nous allons le montrer par quelques exemples :

### a) les pollutions

Dans le cas d'une pollution accidentelle catastrophique comme le naufrage de l'"Amoco Cadiz", la télédétection sert à suivre l'évolution de la pollution pour déterminer les zones d'intervention prioritaires des équipes de secours.

Puis il est possible de dresser le bilan global des zones atteintes, bilan qui sert alors aussi bien à l'indemnisation des victimes que d'élément de preuve dans le procès contre le fauteur de l'accident.

Dans les cas de pollutions lentes, la télédétection permet par exemple d'étudier l'état phytosanitaire des végétaux en zone urbaine ou près d'industries polluantes. On peut alors dresser une carte des arbres malades ou morts.

### b) la gestion des équipements

Un exemple caractéristique de ce type d'intervention de la télédétection est son utilisation dans le contrôle des rejets des eaux de refroidissement des centrales nucléaires. La télédétection permet d'obtenir une mesure instantanée de la température de surface de l'eau sur des grandes zones et permet donc de suivre la répartition et le mélange des masses d'eau

chaude dans la mer aux différents états de marée et de suivre l'évolution lors de la mise en route des différentes tranches.

Outre cela, il est possible de contrôler la déperdition de chaleur des bâtiments ou des réseaux de chauffage urbain pour déterminer les points d'interventions prioritaires afin de limiter les pertes d'énergies.

### c) la gestion à long terme

Les cartes d'inventaires décrivant un état de départ et destinées à une mise à jour périodique telles celles de l'IPLI en sont un exemple comme le MOS de la région Ile de France.

Ainsi la télédétection intervenant à tous les niveaux du processus énergétique est un outil de prospection, de contrôle, de gestion et de planification irremplaçable tant par la diversité des informations qu'elle recueille que par l'exhaustivité et la globalité des images qu'elle utilise.

# Exemples de travaux de télédétection à l'Institut Géographique National

par Albert LACOMME-LAHOURETTE  
Ingénieur en Chef Géographe IGN

Il est intéressant de dégager quatre exemples de produits.

Le premier est réalisé par photo-interprétation classique, le second est une étude thermographique et les deux autres sont issus de traitements informatiques interactifs d'images satellites.

## Cartes d'évolution de l'île de Ré

Dressée à l'échelle de 1/25 000 en 1979 à la demande du département de la Charente

Maritime, à partir de deux prises de vues aériennes effectuées en 1957 et en 1977, elle dresse un bilan de l'évolution des terrains agricoles (cultures dont vignes, landes et bois) à la suite du développement touristique.

Cette étude a été établie à partir des photographies aériennes, complétée par un passage sur le terrain pour la mise au point des clefs d'interprétation ; c'est un bon exemple du rôle de "mémoire" que jouent les archives de la Photothèque Nationale.

L'application du processus de rédaction informatisé a permis en outre d'obtenir facilement les surfaces de chaque classe.

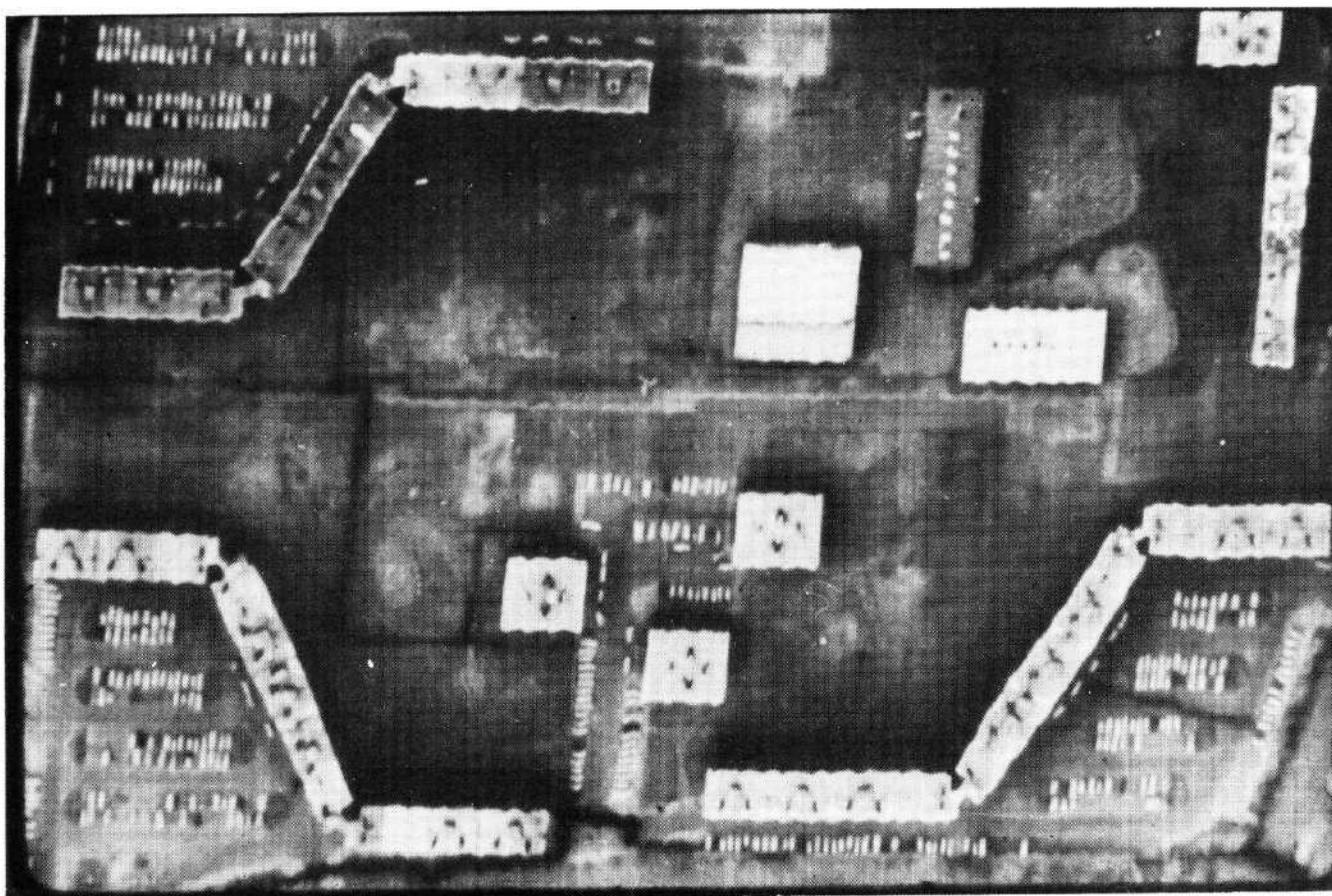
En même temps et dans le même cadre de l'étude d'impact touristique, une étude détaillée à 1/5 000 a été faite des implantations des campings et des caravanes (en tendance d'implantation permanente sauvage) en zone littorale ainsi que du développement des algues vertes et brunes, liée à la pollution due à cet impact touristique.

## Fuites thermiques par thermographie

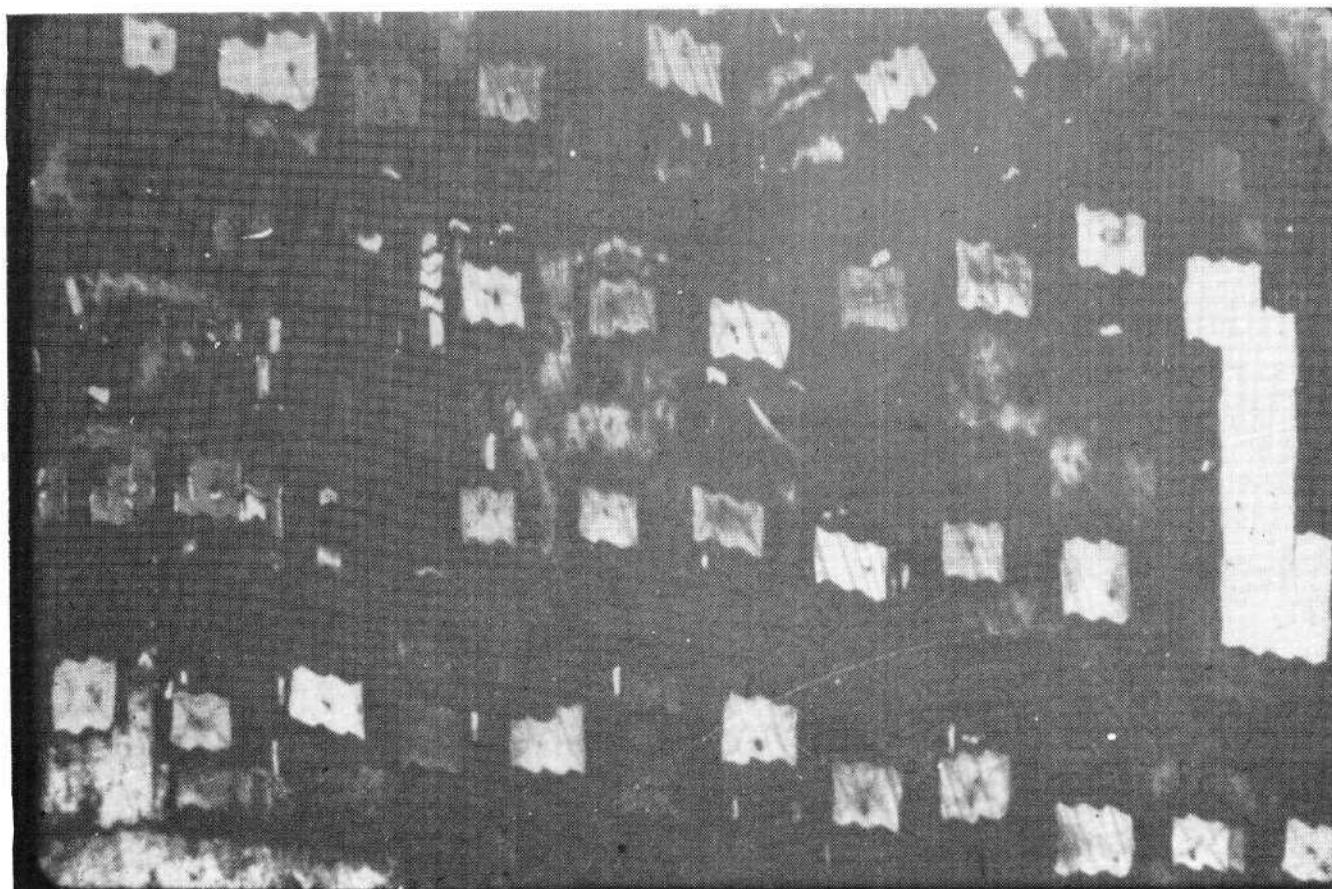
Une des applications de la thermographie,



1 — L'hélicoptère de l'IGN.



2 — Exemple de thermographie sur habitat collectif ; les immeubles sont en cours d'isolation. Les traits noirs sont le réseau de chauffage urbain.



3 — Exemple de thermographie sur habitat pavillonnaire ; les pavillons peuvent être classés selon le degré d'isolation.

enregistrement par balayage de l'émission du sol dans l'"infrarouge thermique" est la détection des fuites thermiques (canalisations de chauffage urbain, bâtiments et sites industriels). C'est l'utilisation d'un vecteur à basse altitude - en l'occurrence un hélicoptère - qui a permis le développement de ces applications.

Après une expérience en vraie grandeur à Nancy sur l'isolation de bâtiments administratifs, une deuxième opération a été effec-

tuée à Châlon-sur-Saône sur des immeubles et des zones pavillonnaires.

L'interprétation fine des résultats reste délicate, il faut tenir compte des différences d'émissivité des matériaux de couverture. On doit donc faire appel en particulier à l'examen complémentaire de photographies aériennes et utiliser des clefs d'interprétation et d'étalonnage recueillies par une courte enquête sur place : diverses autres perturbations (pente des toits,

ombre thermique, etc...) doivent également être prises en considération. L'heure de l'enregistrement (de nuit, ou plutôt juste avant le lever du soleil) est aussi importante.

L'utilisation des résultats peut être très diverse : inventaire de l'état existant, incitation aux économies d'énergie, priorité à définir pour les travaux d'isolation et contrôle de ces travaux.

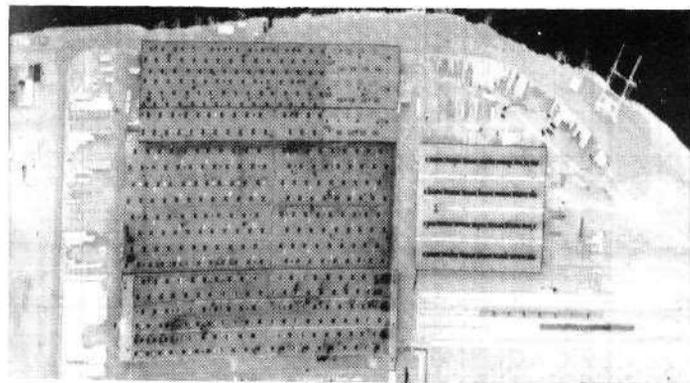
L'intervention des enregistrements multi-

# DETECTION DES FUITES THERMIQUES

## principe

Un capteur à balayage, sensible au rayonnement de longueurs d'onde comprises entre 8 et 14 microns (infrarouge thermique) est embarqué à bord d'un hélicoptère volant à 300 m d'altitude environ. Il enregistre le rayonnement thermique émis par le sol en balayant d'étroites bandes de terrain, perpendiculaires à l'axe de vol et couvrant environ 200 m de part et d'autre de cet axe.

Cet enregistrement est ensuite visualisé sur un film photographique noir et blanc qui constitue l'image thermique, ou thermogramme, du site survolé.



Le capteur comporte deux corps noirs de référence qui, réglés à des valeurs encadrant la plage des températures à analyser, permettent d'établir des correspondances entre les niveaux de gris des thermogrammes et les températures de surface : les plages les plus sombres indiquent les surfaces émettant le rayonnement thermique le plus important, cheminées ou lanternaux, mais aussi les toitures mal isolées et les déperditions des conduites de chauffage enterrées.

## conditions d'enregistrement

Les enregistrements doivent, si possible, être effectués dans la deuxième partie de la nuit, avant le lever du soleil dont le rayonnement perturberait les résultats. Les conditions optimales exigent l'absence de vent, une température extérieure, de préférence, négative, des toitures et un sol secs et dépourvus de neige.

## interprétation

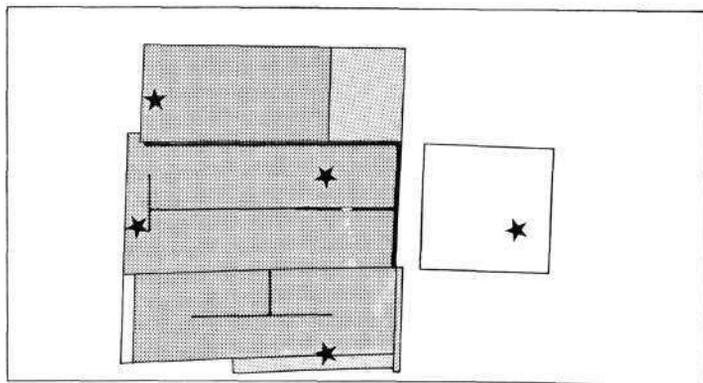
L'interprétation fine des enregistrements est délicate car les divers matériaux de couverture des toits présentent des coefficients d'émissivité très différents influant directement sur leur réponse thermique : ainsi, par exemple, un toit de tuile paraît plus rayonnant qu'un toit de zinc plus chaud.

Pour éviter ces contresens, l'interprète doit identifier les matériaux par l'examen des photographies aériennes et utiliser les clés d'interprétation et d'étalonnage qu'il a recueillies sur le site.

Il doit, également, tenir compte de diverses perturbations dues, en particulier, à l'état de surface des matériaux ou aux panaches de fumées.

## présentation des résultats

Les résultats de l'interprétation sont reportés sur des calques superposables aux thermogrammes et commentés dans un rapport explicatif.



spectraux et numériques du satellite Landsat (qui donnent une idée de ce qu'on pourra obtenir dans peu d'années grâce au satellite français SPOT), après traitement interactif par ordinateur des images (ou plutôt des données) grâce au système TRIAS, ouvre à la télédétection un domaine très riche, principalement pour le thème de l'occupation du sol.

## Traitement des images satellites dans la région d'Alençon

Les documents graphiques établis à l'échelle de 1/100 000 l'ont été à des fins pédagogiques et de démonstration. Ce sont :

- une composition colorée à partir des quatre canaux enregistrés,
- une classification non supervisée,
- deux classifications supervisées, orientées l'une sur l'occupation du sol, l'autre sur le bocage.

L'étude étant essentiellement thématique aucune correction géométrique n'a été effectuée, l'échelle du 1/100 000 étant la limite de possibilité de la résolution des enregistrements Landsat.

**La composition colorée** est à rapprocher d'une image en infrarouge couleur (IRC ou "fausse couleur"). L'image datant de 1975, la sécheresse a en particulier mieux mis en évidence le chevelu hydrographique. Comme pour de telles images, la couleur rouge adoptée pour représenter le proche infrarouge correspond à l'activité chlorophyllienne maximum. L'eau apparaît en bleu-noir et les zones urbaines en gris bleu-tés.

**La classification non supervisée** provient d'un traitement informatique qui regroupe les "pixels" ayant des caractéristiques d'émission et de voisinage peu différentes. L'opérateur n'intervient pratiquement pas dans le choix des classes, il ne fait que leur affecter une couleur qu'il choisit de la manière la plus suggestive. La détermination de la nature d'un certain nombre de ces classes rend indispensable un contrôle sur le terrain.

**Pour les classifications supervisées** dont un fragment est donné en illustration, il y a choix a priori de la thématique à cartographier et des zones-test repérées sur le terrain vont guider l'ordinateur et un traitement interactif va intervenir.

La classification concernant le bocage s'est révélée la plus intéressante, bien que la taille des parcelles soit voisine de celle du pixel. Les résultats comparés sur photographies aériennes, et après comptage sur le terrain sont très bons. En particulier la zone à grand parcellaire correspondant à la zone à dominante mauve de la classification non supervisée.

## Cartographie de l'occupation des sols du département de la Loire

Cette étude, faite à l'occasion d'un contrat de recherche, financée par la CEE, a donné lieu à l'établissement d'un document cartographique à 1/100 000.

Pour tenir compte des expériences déjà faites dans d'autres régions (Alençon, Aude et Roussillon, et Indre-et-Loire), la diversité interne du département de la Loire a nécessité le découpage préalable en 12 zones homogènes (en particulier zones de plaines et zones de montagnes), sur des critères géographiques complétés par l'examen des photographies aériennes et la composition colorée Landsat.

Enfin le croisement des fichiers numériques de la classification et des fiches de statistiques cadastrales et agricoles existantes, a permis d'établir des tableaux statistiques par unités administratives.

La classification a porté sur 12 thèmes (forestiers, agricoles, eau, zones urbaines). Une seule scène Landsat (18/9/78) a pu être utilisée, faute d'autres documents disponibles, ce qui n'a pas permis d'améliorer la distinction de certaines cultures, vignes notamment.

Les confusions possibles par effet de bord entre divers thèmes ont été soigneusement étudiées. La classification non supervisée par région a été adaptée en interactif à l'aide de photo-interprétation.

On a procédé à une vérification par échantillonnage sur des zones différentes de celles choisies pour l'adaptation des seuils, et pour l'identification des thèmes.

Un rapport détaillé a été rédigé, qui étudie soigneusement les incertitudes et le taux d'erreur. Les résultats comparés au terrain y sont donnés pour une quinzaine de communes.

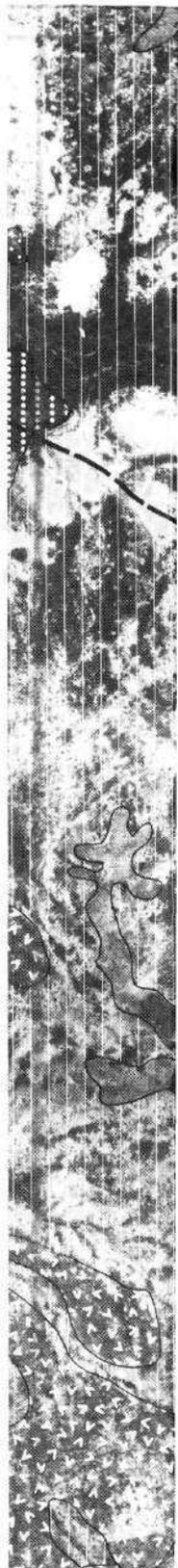
L'influence du parcellaire paraît être la principale source des indéterminations et des erreurs relevées. Une meilleure résolution spatiale du type SPOT permettra certainement des résultats fiables.

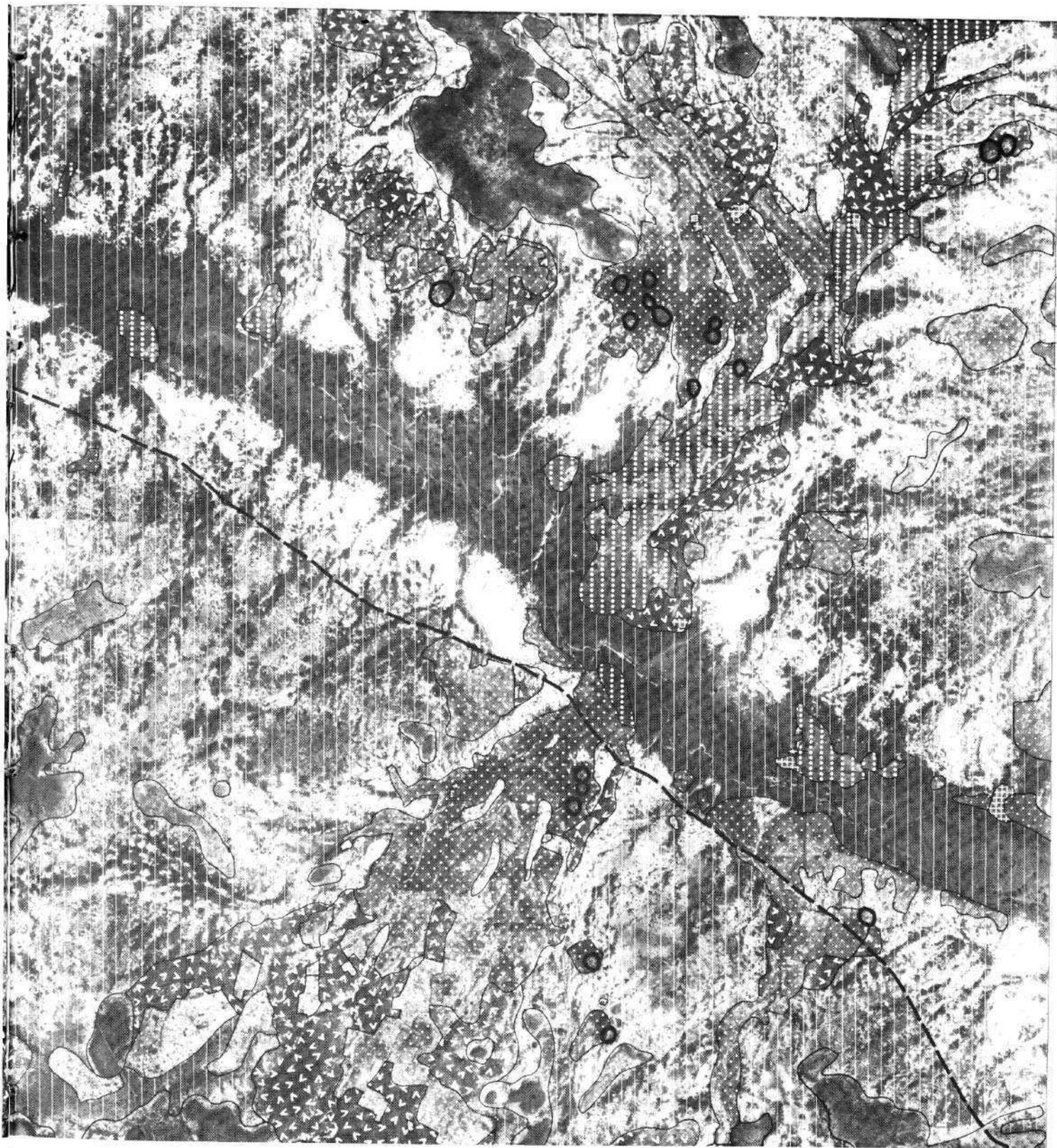
La principale conclusion de cette étude porte sur la comparaison des résultats de la télédétection avec le recensement général de l'agriculture ; sans entrer dans le détail, il semblerait que la classification pourrait être utile pour réévaluer le recensement général agricole ; la télédétection apporterait donc un complément utile au RGA dont la précision thématique reste bien meilleure.

Cette étude atteint les limites de ce que peuvent apporter les données Landsat et les ordinateurs actuels.

La thématique pourrait cependant être affinée en disposant d'images enregistrées à plusieurs dates.

*L'institut Géographique National est souvent sollicité par les responsables des pays tropicaux et en particulier ceux de l'Afrique de l'Ouest, pour la réalisation de cartes d'occupation du sol et la fourniture de résultats statistiques précis. Le document joint, illustrant ce type de carte, est issu de travaux réalisés à l'échelle du 1/20 000 pour le Ministère du PLAN au Niger, qui concernent la totalité du département de SAY soit 11 870 km<sup>2</sup>.*





### LÉGENDE

Mil pur. Mil,haricot. 

Sorgho. 

Cult.sec. 

Manioc. 

Riz. Arachide. 

Fôret-galerie dense. 

Jachère. 

Zone cultivable. 

Zone incultivable. 

Route principale. 

Route secondaire. 

Village. 

# Le programme SPOT à l'IGN

Alain BAUDOIN - Ingénieur Géographe IGN

## I - Introduction

L'IGN s'intéresse depuis plus de dix ans aux applications possibles de l'espace pour la cartographie, à l'aide des satellites de positionnement pour la géodésie spatiale et en utilisant des images issues des satellites d'observation de la Terre américains. Dès 1972, lors du lancement du premier satellite LANDSAT des méthodes de traitement et d'exploitation des images furent élaborées, aussi bien sous forme photographique que sous forme numérique à l'aide d'ordinateurs.

Depuis, l'intérêt des images spatiales est devenu plus évident et aux recherches et développement toujours nécessaires se sont ajoutées des applications concrètes : réalisation de spatio-cartes au 1/250 000 pour des pays du Moyen-Orient, cartographie de l'occupation du sol au 1/100 000 en France, etc...

Cependant, les performances du satellite LANDSAT restent souvent insuffisantes pour de nombreuses applications, notamment en France où la taille du parcellaire est trop petite par rapport à la finesse de l'analyse par ce satellite.

Aussi lorsque le CNES proposa d'étudier un système d'observation de la Terre, l'IGN suivit de très près les travaux entrepris. Des missions aéroportées furent effectuées dans le cadre du programme de recherche du G.D.T.A. (\*) pour étudier les capteurs et les méthodes d'acquisition et de traitement des images.

Ces études conduisirent le CNES à proposer la réalisation d'un satellite nouveau. Ce projet n'ayant pas pu se réaliser dans un cadre européen, le gouvernement français le prit à sa charge en 1978 sous le nom de S.P.O.T. : Système Probatoire d'Observation de la Terre.

Dès lors, l'IGN fut sollicité par le CNES pour l'aider à concevoir et à étudier les applications cartographiques d'un tel système. Une coopération étroite entre les deux organismes s'est aussitôt engagée, l'IGN voyant dans ce projet un outil important de son développement pour améliorer la qualité de la production de certains produits (révision de la cartographie à moyenne échelle), pour créer des produits nouveaux (en cartographie thématique) et

pour élargir ses marchés à l'étranger (en cartographie topographique et thématique).

## II - Le système S.P.O.T.

La conception générale du système S.P.O.T. fut élaborée par le CNES pour satisfaire de nombreux utilisateurs à l'aide des technologies spatiales existantes. Les missions du système touchent à l'étude de l'utilisation du sol et de l'évolution de l'environnement, à la prospection des ressources minérales et énergétiques, à l'évaluation des ressources naturelles renouvelables (prévision des récoltes, gestion des forêts, etc...).

Pour toutes ces applications, les divers utilisateurs expriment leurs besoins en terme de résolution spatiale, de choix des bandes spectrales, de fréquence d'observation, de précision et de délais d'obtention des images fournies par le satellite.

Un compromis dut être fait à cause des limites technologiques pour définir les caractéristiques générales du satellite.

### — Résolution spatiale

La dimension des parcelles du paysage européen ainsi que celles de nombreux pays africains et asiatiques exigent de pouvoir distinguer des surfaces de quelques ares ou des détails de l'ordre d'une dizaine de mètres.

### — Bandes spectrales

De nombreuses études ont montré que trois bandes spectrales dans le rayonnement visible et le proche infra-rouge étaient généralement suffisantes pour étudier l'occupation des sols et la géologie. Bien sûr un nombre plus grand de bandes spectrales permettraient des études plus fines mais le nombre d'informations que peut transmettre le satellite est limité : il faut donc faire un choix entre une résolution spatiale fine et un nombre de bandes spectrales élevé. En outre, l'observation des détails ponctuels, de la texture du terrain, de la structure des paysages peut se faire à l'aide d'une seule bande spectrale (en noir et blanc) mais nécessite la meilleure résolution spatiale possible.

Aussi l'instrument de prise de vues fut-il conçu pour fournir des images de deux types :

— soit des images noir et blanc (une seule bande spectrale de 0,51 à 0,73 dite panchromatique) avec une résolution très fine : 10 m

— soit des images en couleur (trois bandes spectrales de 0,50 à 0,59 , de 0,61 à 0,68 et de 0,79 à 0,89 ) avec une résolution de 20 m.

Cet instrument appelé H.R.V. (à Haute Résolution dans le Visible) fait appel à une technologie nouvelle. Contrairement aux instruments du satellite LANDSAT qui balayent le paysage ligne par ligne à l'aide d'un miroir qui oscille très vite et qui réfléchit les rayonnements vers un petit nombre de cellules détectrices, l'instrument H.R.V. analyse d'un seul coup toute une ligne grâce à ses 6 000 détecteurs alignés en barrettes (pour chacune des bandes spectrales).

### — Dimension des images

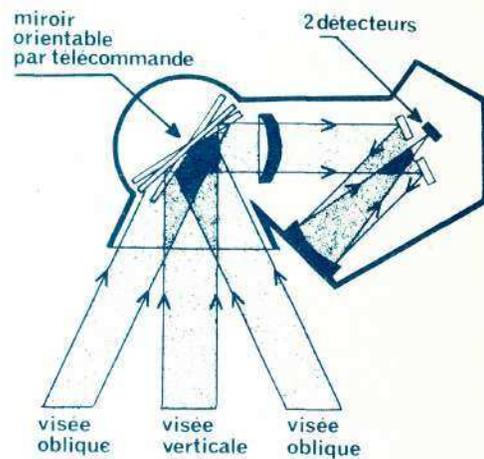
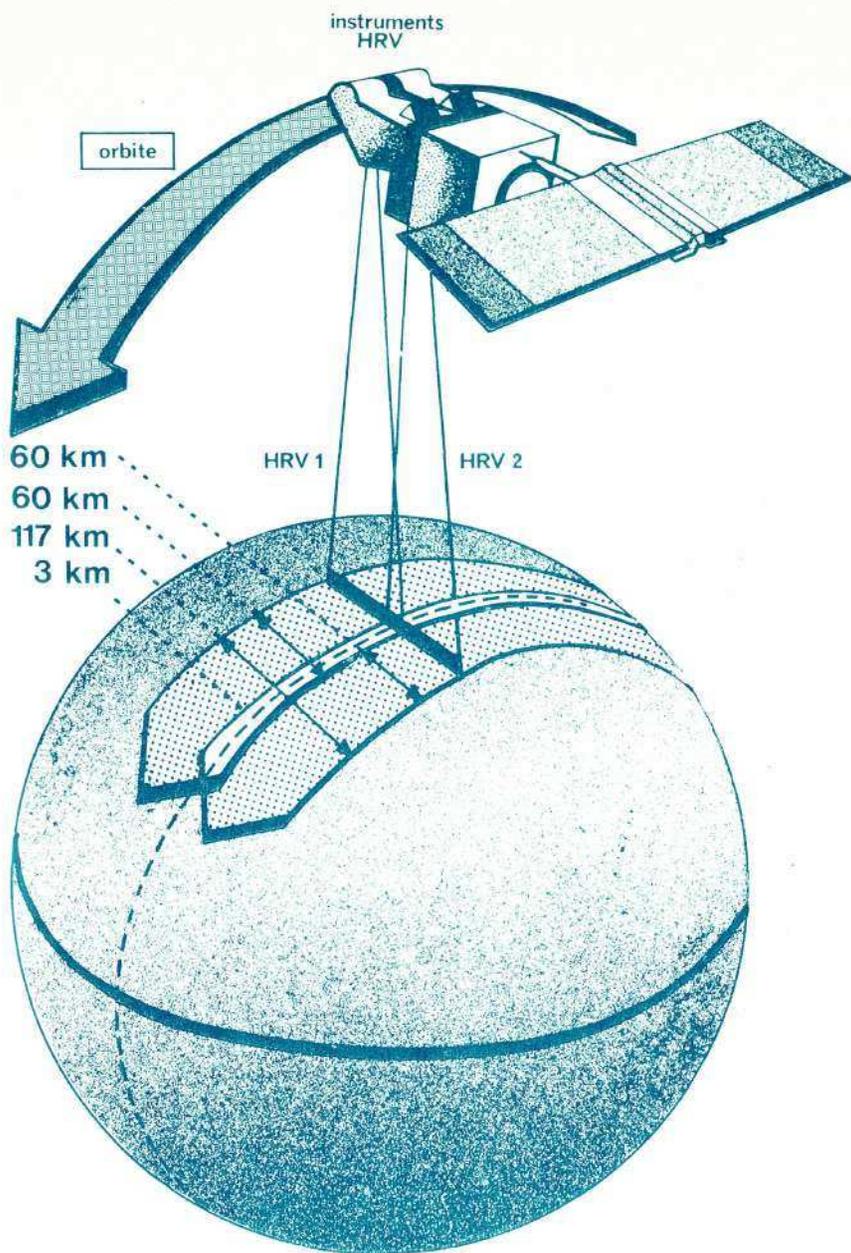
LANDSAT et les satellites météorologiques ont montré l'intérêt d'avoir des images couvrant de très grandes surfaces ce qui permet une vue synoptique propice à l'interprétation des structures du paysage ou du sous-sol.

Cependant, la dimension des images est limitée par la technologie des capteurs à barrettes d'une part, et par le débit des informations à transmettre au sol d'autre part.

Les 6 000 détecteurs de l'instrument H.R.V. permettent, avec la bande panchromatique de résolution 10 m, de couvrir 60 km en visée verticale. En mode multi-spectral, l'image couvre également 60 km, les détecteurs étant associés deux par deux pour obtenir la résolution de 20 m.

Bien que l'analyse du paysage ligne par ligne soit réalisée de façon continue tout le long du passage du satellite, il est commode de découper l'ensemble des lignes en scènes : une scène couvre 60 km sur 60 km, ce qui représente 6 000 lignes en mode panchromatique, soit 36 millions de points (pixels) ou 3 000 lignes en mode multi-spectral (9 millions de pixels).

(\*) G.D.T.A. : Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale comprenant le CNES, l'IGN, l'IFP, le BRGM et le BDPA.



Caractéristiques de l'instrument HRV	Mode multibande	Mode panchromatique
Bandes spectrales .....	0,50-0,59 $\mu\text{m}$ 0,61-0,68 $\mu\text{m}$ 0,79-0,89 $\mu\text{m}$	0,51-0,73 $\mu\text{m}$
Champ de l'instrument .....	4,13 degrés	4,13 degrés
Dimension du pixel en visée verticale .....	20 m $\times$ 20 m	10 m $\times$ 10 m
Nombre de pixels sur une ligne .....	3 000	6 000
Longueur d'une ligne balayée au sol, en visée verticale .....	60 km	60 km
Codage du pixel .....	3 $\times$ 8 bits	6 bits DPCM (1)
Débit d'information .....	25 M bits/sec.	25 M bits/sec.

(1) DPCM est un mode de compression de données qui permet de conserver 256 niveaux de gris.

Fig. 1 – (d'après le CNES). Caractéristiques de l'instrument HRV et couverture complète du globe en visée verticale.

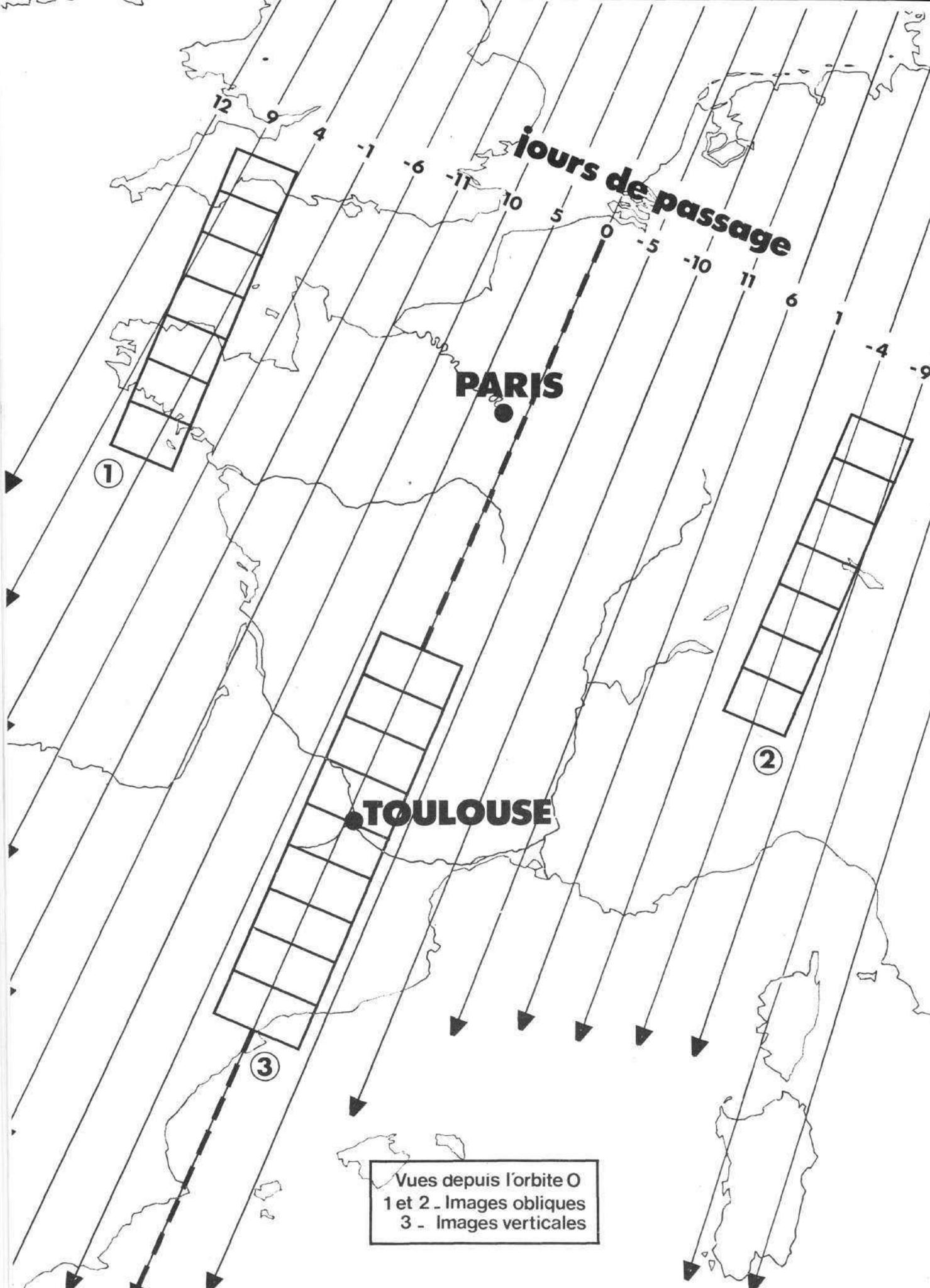


Fig2 Couverture de la France par SPOT

### — Répétitivité et couverture globale

L'étude de vastes territoires exige de pouvoir effectuer des prises de vues en un minimum de temps, sans qu'il n'y ait des manques dans celle-ci.

La surveillance de points précis de la planète demande des prises de vues aussi fréquentes que possible.

L'évaluation des ressources renouvelables nécessitent des prises de vues périodiques à des époques précises.

Toutes ces exigences conditionnent le choix de l'orbite du satellite et des modalités de prise de vues.

Afin d'obtenir un compromis entre ces exigences contradictoires, le satellite S.P.O.T. possèdera les perfectionnements suivants :

— L'instrument H.R.V. sera orientable latéralement (perpendiculairement par rapport à la trace du satellite), ce qui permettra de viser des points précis à surveiller très fréquemment).

— Il y aura deux instruments H.R.V. identiques sur le satellite afin d'augmenter la surface étudiée à un instant et de mieux profiter des possibilités de pointage de chacun des instruments.

En tenant compte de ces nouveautés technologiques, l'orbite choisie est une orbite "héliosynchrone" (\*) presque circulaire, située à environ 825 km d'altitude et qui permet de couvrir l'ensemble du globe (excepté les pôles au-delà de 81° de latitude) en 26 jours correspondants à 369 révolutions.

Le satellite repassera donc tous les 26 jours au-dessus des mêmes endroits (malheureusement la présence de nuages ne permettra pas toujours la prise de vue).

Les possibilités offertes par le passage des deux H.R.V. seront très intéressantes. A chaque passage du satellite, les deux instruments peuvent choisir deux images dont la dimension varie de 60 km à la verticale à 80 km en visée oblique dans une bande de terrain de plus de 900 km. Ceci permet, dans la mesure où celles-ci sont connues, d'éviter les zones nuageuses.

En outre, un endroit à surveiller peut être visé 10 fois par mois s'il est situé à l'Equateur, 20 fois à 60° de latitude. C'est ce que nous appelons une très bonne "accessibilité".

### — Conception opérationnelle du système

L'ensemble des utilisateurs d'un satellite doit pouvoir être assuré de la qualité des données fournies mais surtout de la permanence du service rendu. Aussi le système S.P.O.T. est-il conçu pour être pleinement opérationnel. Ceci signifie que :

— le programme S.P.O.T. s'étendra sur plus de dix ans grâce à l'utilisation de 4 ou 5 satellites (chacun ayant une durée de vie de 2 à 3 ans). Le premier satellite doit être

lancé mi-1984. Un deuxième a été approuvé à l'automne 81.

— une structure de production industrielle sera mise en place pour assurer le respect de la qualité des produits et des délais de fabrication (de quelques jours à une semaine en général).

— un réseau de commercialisation efficace permettra aux utilisateurs de bien connaître les produits disponibles et de les acquérir rapidement.

Ces contraintes sont indispensables pour donner confiance aux utilisateurs et les conduisent eux-mêmes à exploiter les données spatiales de façon opérationnelle.

### — Étude des spécifications cartographiques de S.P.O.T.

La conception générale du satellite ayant été faite par le CNES telle que décrite précédemment, l'IGN étudia plus particulièrement les contraintes liées à l'utilisation cartographique des images fournies par le satellite.

Ces études montrèrent que les images reçues par la station de réception au sol devraient être corrigées géométriquement pour pouvoir être exploitées par le cartographe. Différents niveaux de précision furent définis, selon la qualité géométrique recherchée et les procédures de correction envisagées.

Quatre grands types de qualité géométrique des images sont définis.

#### Niveau 1

En utilisant les informations relatives à la trajectoire du satellite et à l'angle de visée de l'instrument H.R.V. des calculs et des études sur simulations ont montré qu'il serait possible de corriger les défauts de l'image introduits par les variations d'altitude et de vitesse du satellite qui modifient l'échelle de l'image, ainsi que ceux dus à l'obliquité des prises de vues, la courbure et la rotation de la Terre.

Ces corrections, effectuées automatiquement, permettront de connaître la position géographique d'un point de l'image avec une précision de l'ordre de 2 km mais les variations d'échelle ne devraient pas dépasser 1 %.

#### Niveau 2

La résolution spatiale des images S.P.O.T. est compatible avec la réalisation de cartes topographiques aux échelles voisines du 1/100 000.

Pour obtenir des images ayant une qualité géométrique comparable à celle des cartes au 1/100 000, il faut corriger chacun des points de l'image provenant du satellite avec une précision de 50 m.

Des simulations ont montré que ces corrections sont possibles pour des images prises en visée verticale (les déformations dues au relief sont alors faibles) grâce à l'utilisation de points d'appui (1) mesurés sur les cartes

existantes (à des échelles supérieures au 1/50 000).

Ces corrections ne peuvent pas être entièrement automatisées et elles nécessitent l'utilisation de consoles de visualisation interactives pour choisir et exploiter les points d'appui.

Ces consoles permettent également de comparer plusieurs images du même paysage et de les superposer entre elles avec une précision d'un demi pixel (5 m pour les images panchromatiques, 10 m pour les multispectrales).

#### Niveau 3

Il est possible d'améliorer encore la précision cartographique des images à condition de pouvoir corriger les déformations dues aux oscillations à haute fréquence du satellite d'une part, et aux effets du relief d'autre part. Les études actuelles montrent qu'il est envisageable de pouvoir obtenir des images d'une précision géométrique de l'ordre de 10 m, à condition de disposer d'un nombre suffisant de points d'appui et d'un modèle numérique du terrain (2).

Les corrections de niveau 3 peuvent être utilisées pour superposer des images prises depuis des angles différents et étudier en particulier les effets de stéréoradiométrie (deux points homologues d'un couple stéréoscopique n'ont pas la même couleur ou la même intensité lumineuse).

#### Niveau 4

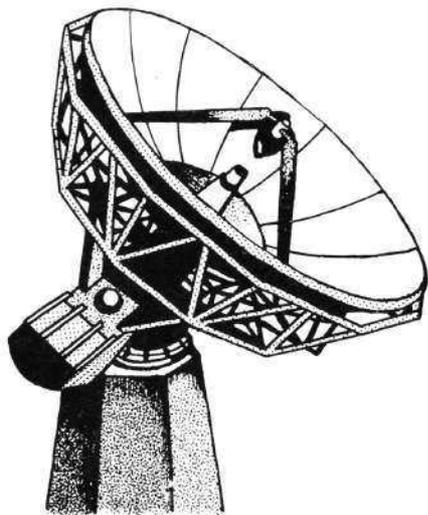
En l'absence d'une cartographie préexistante de qualité suffisante, les images S.P.O.T. pourront être utilisées pour réaliser des cartes à des échelles de l'ordre du 1/100 000. Ceci implique de procéder au traitement, non plus d'une seule image à la fois, mais d'un grand nombre d'images couvrant l'ensemble du territoire à cartographier et comprenant des vues verticales et des vues obliques stéréoscopiques.

Les traitements de niveau 4 ne sont pas, à proprement parler, des corrections d'images mais l'ensemble des opérations géodésiques et photogrammétriques permettant la réalisation des cartes topographiques à partir de plusieurs images stéréoscopiques. Parmi les données calculées se trouvent des points d'appui et des modèles numériques de terrain qui peuvent ensuite être exploités pour corriger les images par des traitements de niveaux 2 ou 3.

(\*) *héliosynchrone* : telle que le satellite repasse toujours à la même heure solaire au-dessus du même paysage.

(1) *Un point d'appui, ou amer* est un détail bien visible sur l'image (ex. croisement de route) et dont les coordonnées cartographiques sont connues.

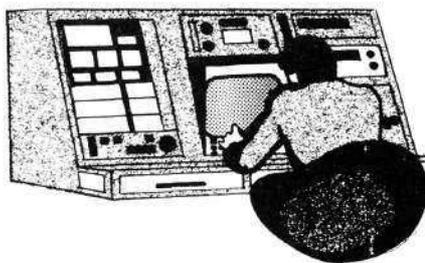
(2) *Modèle numérique de terrain* : M.N.T. fichier informatique fournissant l'altitude de tous les points du terrain disposés selon une grille régulière (tous les 100 m par exemple).



S.R.I.S. (réception des images)

# C.R.I.S (CNES.IGN)

## ARCHIVAGE



- Contrôle visuel
- Édition du catalogue
- Micro-films



Console de visualisation

## LOCALISATION DES POINTS D'APPUI



Carte de référence

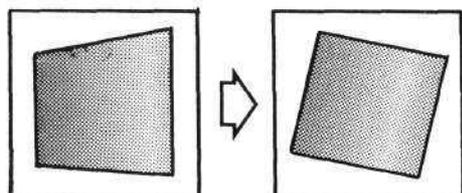
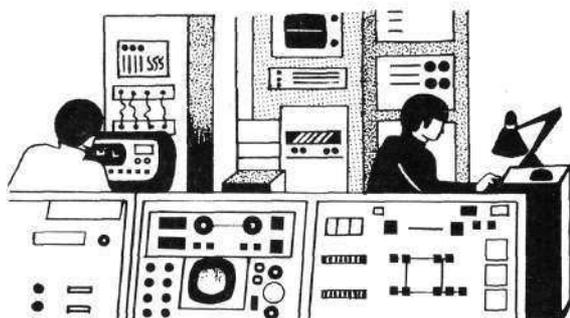
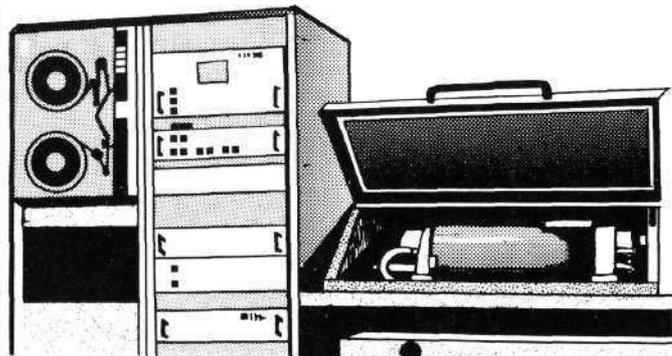


Image brute

Image corrigée

RECTIFICATION (niveau 1, 2, 3)



TRANSFORMATION DE SUPPORTS  
(bandes magnétiques — films)



Diffusion aux  
utilisateurs

# SPOT IMAGE

Fig. 3 – Segment Sol Image de SPOT.

Ces quatre niveaux de traitements correspondent donc d'une part à des besoins différents et d'autre part à des techniques différentes selon la qualité des données cartographiques déjà disponibles.

L'étude de la faisabilité de ces traitements effectués en commun par le CNES et l'IGN a conduit à bien spécifier les caractéristiques du satellite, des capteurs H.R.V. et des chaînes de réception et de prétraitement des images.

— Le satellite devra être très stable, avec des oscillations de moins d'un dixième de degré, ces mouvements étant enregistrés avec une grande précision par des gyroscopes.

— Les distorsions optiques de l'instrument H.R.V. devront être négligeables (c'est-à-dire introduire des erreurs inférieures à quelques mètres sur le terrain).

### *Étude des systèmes de prétraitement des images*

#### **— La réalisation des niveaux 1 et 2 du C.R.I.S. à Toulouse**

Une fois définis les différents niveaux de prétraitement indiqués plus haut, le CNES et l'IGN signèrent un protocole d'accord en 1979 pour réaliser en commun à Toulouse, le Centre de Rectification des Images Spatiales (C.R.I.S.).

Ce centre sera chargé d'archiver toutes les images provenant du satellite S.P.O.T., et éventuellement du satellite LANDSAT D, et de les corriger au niveau 1 ou 2 à la demande des utilisateurs (les niveaux 3 et 4 seront développés uniquement par l'IGN à Saint-Mandé).

Le C.R.I.S. sera conçu pour pouvoir :

- archiver environ 800 images par jour,
- corriger environ 35 images de niveau 1 par jour (\*)
- corriger environ 10 images de niveau 2 par jour.

Une équipe d'ingénieurs de l'IGN travaillent actuellement à Toulouse avec le CNES pour définir la spécification de ce centre et en suivre la réalisation confiée à la Société Européenne de Propulsion (S.E.P.).

L'exploitation du C.R.I.S. sera assurée par du personnel de l'IGN encadré par des ingénieurs CNES et IGN. Une cinquantaine de personnes seront ainsi affectées à ce centre en 1984 pour être opérationnelles dès le lancement du premier satellite prévu pour le mois de mai.

Nous ne décrivons pas ici l'architecture informatique prévue pour archiver et corriger les images dans le C.R.I.S. Signalons simplement que le matériel choisi comprend des ordinateurs SOLAR 16.7S, un processeur rapide AP 120 B, des consoles de visualisation interactive TRIADE 80, un reconstituteur d'images numériques sur film VIZIR.

Les logiciels de traitement des images

S.P.O.T. au niveau 2 sont en cours de réalisation par une équipe d'analystes et de programmeurs de l'IGN qui travaillent sous la maîtrise d'œuvre industrielle de la S.E.P.

Différents produits pourront être réalisés à partir de la même image issue du satellite et archivée sur un support magnétique à très haute densité :

— Des films de visualisation rapide pour toutes les scènes acquises qui constituent la base d'un catalogue permettant à l'utilisateur de choisir les images à prétraiter.

— Des bandes magnétiques compatibles ordinateurs (C.C.T.) contenant les images corrigées :

• Au niveau 1A : pas de corrections géométriques seulement des corrections radiométriques pour supprimer certains défauts dus à l'instrument.

• Au niveau 1B : des corrections géométriques dites mono dimensionnelles (des changements d'échelle le long des lignes et le long des colonnes mais pas de rotations).

• Au niveau 2 : selon que l'image sera corrigée par rapport à une autre image S.P.O.T., nous parlerons de niveau 2 proprement dit, ou de niveau S (pour superposition).

Ce dernier permet une automatisation plus grande en utilisant des procédures de corrélation automatique sur des points d'appuis à localiser.

Dans les deux cas, les corrections sont dites bidimensionnelles et peuvent introduire des rotations de l'image initiale.

Dans le cas du niveau S, l'image corrigée est superposable pixel à pixel, avec l'image de référence (à 0,5 pixel près).

• Des films photographiques de précision obtenus à l'aide du VIZIR, à une échelle de 1/400 000, pour tous les niveaux de correction. Ceux-ci pourront être en particulier utilisés pour réaliser le niveau 4 à l'aide d'appareils de restitution analytique.

#### **— La réalisation des niveaux 3 et 4 à l'IGN/Saint-Mandé**

La conception des traitements de niveaux 3 et 4 est encore à l'étude actuellement et le développement d'un système opérationnel devrait commencer en 1982 pour être prêt fin 1984.

### *Les traitements de niveau 3*

Ceux-ci sont destinés, dans un premier temps, à exploiter au mieux les images du territoire français pour faciliter la révision des cartes au 1/100 000 et peut-être au 1/50 000 et surtout pour constituer une base de données géographiques susceptible de produire des cartes générales de l'occupation du sol à des cartes plus spécifiques à la demande des utilisateurs.

Bénéficiant du fait qu'en 1984 l'ensemble de l'altimétrie française sera numérisée,

ainsi qu'un certain nombre de données géographiques (limites administratives, routes principales, etc...) il sera possible de rectifier certaines images S.P.O.T. avec une grande précision (environ 10 m).

La nécessité de corriger les images S.P.O.T. au niveau 3 apparaît très vite en cartographie où il faut pouvoir superposer différentes images S.P.O.T. entre elles pour effectuer des traitements multitemporels mais aussi superposer ces images à d'autres fichiers géographiques et pouvoir juxtaposer des images contiguës sans discontinuités.

Bien sûr l'effet du relief est important pour des images obliques mais il n'est pas négligeable pour des vues verticales.

A 45° de latitude, les parallaxes introduites par le relief dans les deux images verticales prises depuis des orbites adjacentes de l'ordre de 10 m pour 100 m de dénivelée.

#### **— Applications à la révision planimétrique**

Des simulations d'images S.P.O.T. prétraitées au niveau 3 ont été étudiées pour vérifier d'une part leurs qualités géométriques et analyser d'autre part la richesse des informations qualitatives qu'elles pourront apporter. Bien qu'il soit nécessaire d'examiner de nombreuses autres simulations pour parfaire notre évaluation, nous pouvons dire que S.P.O.T. pourra être utilisé pour :

— réaliser des orthophotocartes au 1/50 000, complétées éventuellement par des images obliques pour obtenir la vision stéréoscopique (semblable à des stéréo-orthophotos).

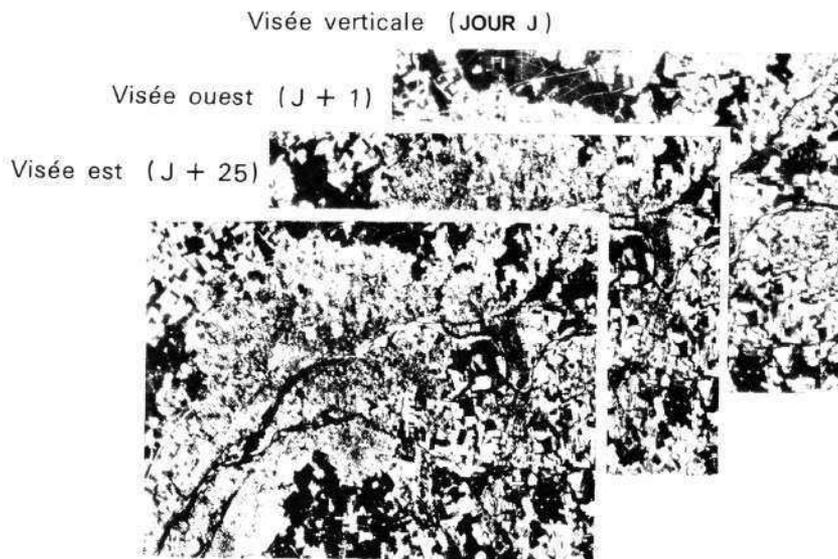
Ces documents pouvant être délivrés très rapidement après la prise de vues (quelques semaines) leur assureraient une actualité qui fait défaut à nombre de cartes topographiques au 1/50 000.

— réviser les cartes "au trait".

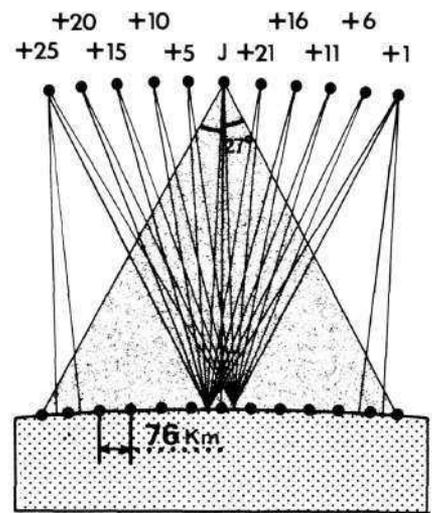
• Pour la carte de base au 1/25 000, les données S.P.O.T. seront insuffisantes mais il pourra être envisagé de les utiliser pour mieux gérer les prises de vues aéroportées et les travaux de complèment sur le terrain.

• Au 1/50 000 de nombreux détails pourront être identifiés sur les images S.P.O.T. : nouvelles routes, constructions et lotissements récents, coupes forestières, etc... Cependant, certains objets risquent d'être mal identifiés ou confondus avec d'autres : bâtiments isolés, carrières, vignes et vergers.

(\*) Un doublement de cette capacité est envisagé et devrait être décidé fin 1981.

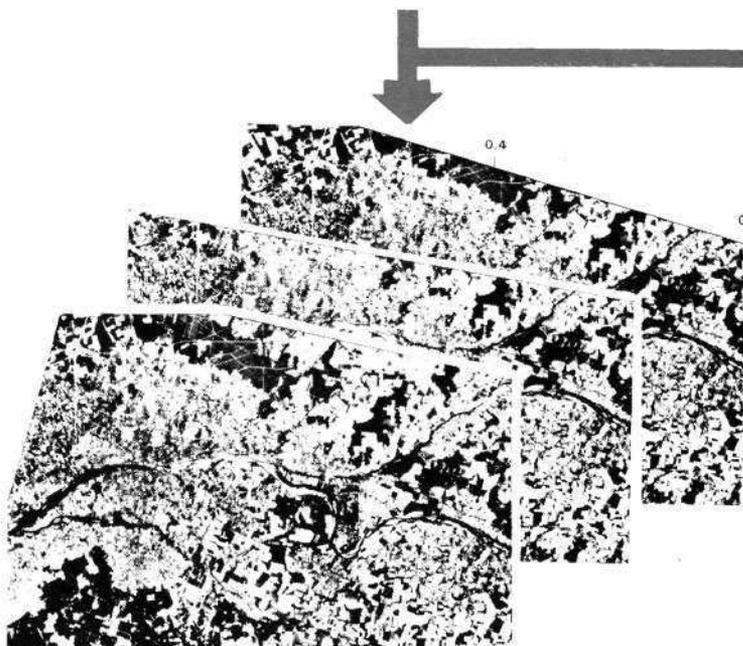


images de niveau 1

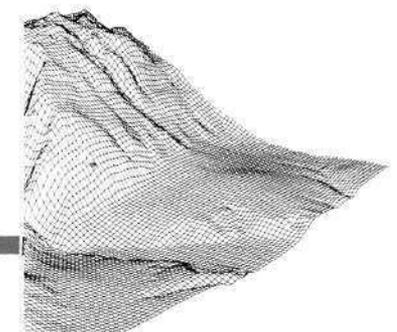


latitude = 45°

Répétitivité des observations  
(11 passages en 26 jours sur la France)



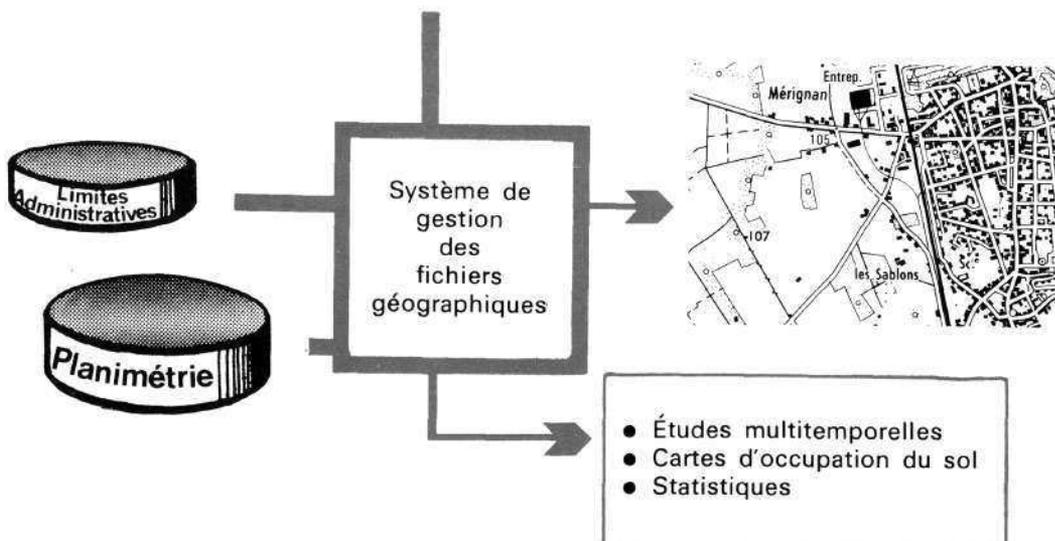
images de niveau 3



Modèle Numérique de Terrain



Fichier de points d'appui



Révision des cartes  
topographiques  
à 1 : 50 000

Fig. 4 – Traitements de niveau 3 et utilisation.

Selon les besoins des utilisateurs, il peut être envisagé soit de définir un nouveau type de carte, sans doute plus économique et révisé plus fréquemment (tous les deux à trois ans), mais adapté à la vision spatiale du paysage, soit de compléter cette vision depuis S.P.O.T. par des données complémentaires aéroportées ou sur le terrain pour respecter les spécifications cartographiques actuelles.

Dans tous les cas, S.P.O.T. laisse présager une automatisation plus grande des procédés de rédaction cartographique pour réduire les coûts et surtout les délais de production de ces cartes.

• Pour le 1/100 000 et les échelles plus petites, S.P.O.T. sera parfaitement adapté, permettant non seulement d'obtenir une représentation plus objective du paysage (en évitant des erreurs dues à la généralisation des détails à partir des cartes au 1/25 000) mais également d'enrichir les cartes existantes de données sur l'occupation du sol. Des systèmes interactifs de traitement d'images du type de ceux qui sont déjà utilisés à l'IGN pour les images LANDSAT (TRIAS et SEMIO) faciliteront l'interprétation des images et la rédaction des cartes.

Si la demande des utilisateurs le justifie, il devrait alors être possible de réviser ces cartes tous les ans.

#### — Application à la mise à jour des fichiers géographiques

Les cartes sur un support papier sont indispensables pour la plus grande partie des utilisateurs, que celles-là soient une représentation graphique (cartes au trait) ou photographique (photocartes) du paysage.

Cependant, un nombre de plus en plus grand d'administrations, d'entreprises ou collectivités locales sont amenées à gérer des informations géographiques sous forme numérique à l'aide de systèmes informatiques. Le développement des microprocesseurs et de la péri-informatique ainsi que le fait que les images spatiales sont le plus souvent sous forme numérique incite l'IGN à concevoir le traitement informatique des images spatiales non seulement comme un moyen pour automatiser la réalisation des cartes traditionnelles mais également comme celui d'inventer une représentation purement informatique du paysage.

Les fichiers ainsi créés forment la "carte" dont la lecture, sur un écran de visualisation ou sur un support papier peut être adaptée aux besoins spécifiques de l'utilisateur.

De tels fichiers existent déjà au niveau de certaines agglomérations et sont issus des cartes à grande échelle (1/2 000 ou 1/5 000) : S.P.O.T. permettra de créer des fichiers d'intérêt non plus local mais régional ou national.

La conception de ces fichiers demande une analyse précise des besoins spécifiques de chacun des utilisateurs potentiels. Celle-ci

est entreprise actuellement à l'IGN avec l'aide des principales administrations concernées : I.N.S.E.E., Ministères de l'Agriculture, de l'Environnement, de l'Urbanisme et du Logement, etc...

Une nomenclature générale des types d'occupation du sol français a déjà été proposée pour définir une cartographie générale, référence commune à tous les utilisateurs qui peut servir de base à de nombreuses analyses thématiques plus fines.

Par exemple, la connaissance a priori des surfaces boisées et du relief (en particulier des pentes et leur orientation) permet de mieux interpréter une nouvelle image S.P.O.T. en différenciant peut-être certaines espèces, identifiant sûrement des zones incendiées, analysant l'état sanitaire des plantations.

#### Les traitements de niveau 4

Nombreux sont les pays qui ne possèdent pas encore une cartographie topographique précise ; c'est-à-dire des cartes couvrant l'ensemble de leur territoire, de façon homogène et révisées régulièrement à des échelles de l'ordre du 1/100 000.

Nous pouvons estimer qu'actuellement les besoins en ce domaine concernent une cinquantaine de pays représentant plusieurs dizaines de millions de km<sup>2</sup>.

Pour ces pays, S.P.O.T. devrait être un outil privilégié pour établir, plus économiquement et plus rapidement que par la cartographie traditionnelle, des cartes au 1/100 000 dont la précision planimétrique et altimétrique (quelques dizaines de mètres) serait suffisante pour une cartographie de base dans les régions les moins peuplées et permettrait la mise à jour des cartes de base au 1/50 000 dans les zones de densité urbaine plus importante.

#### — Utilisation de S.P.O.T. pour établir le canevas de base

L'utilisation simultanée des deux capteurs H.R.V. sur des paysages différents (l'un regardant par exemple vers l'ouest, l'autre vers l'est) permet de calculer la position précise (10 à 20 m) de points remarquables du paysage formant un "canevas de points d'appui" qui sera ensuite utilisé pour "caler" les images par rapport au terrain et pouvoir transformer les prises de vues stéréoscopiques en cartes topographiques.

Cette possibilité est actuellement unique dans l'ensemble des satellites existants ou des systèmes spatiaux en projet. Elle permet de diminuer une grande partie des travaux coûteux de géodésie, ce qui n'est pas le cas lors de l'utilisation d'autres systèmes spatiaux utilisant la stéréoscopie verticale (chambres photographiques de la Navette Spatiale ou du Spacelab) ou la stéréoscopie dite "avant-arrière" (le satellite vise le long de sa trace simultanément vers l'avant

et vers l'arrière : la même zone est ainsi vue à quelques secondes d'intervalle depuis deux points de vue).

Seule la stéréoscopie latérale (de part et d'autre de la trace du satellite) permet de "quadriller" un vaste territoire avec des images prises depuis des orbites différentes selon des angles différents, ce qui assure une précision homogène.

Notons que les points d'appui déterminés à l'aide des images S.P.O.T. pourront servir pour exploiter d'autres images spatiales ou pour servir de base à un canevas photogrammétrique pour restituer des photographies aériennes à petites échelles.

#### — Exploitation photogrammétrique des couples stéréoscopiques

De même qu'à partir de deux photographies aériennes verticales formant un couple stéréoscopique, il est possible de déterminer la forme et les dimensions du terrain avec suffisamment de points d'appui dont les coordonnées cartographiques sont déjà connues, deux images S.P.O.T. prises depuis des orbites différentes forment un couple stéréoscopique. Le même terrain aura des formes légèrement différentes sur les deux images. Des parallaxes apparaissent dont la mesure permet l'évaluation de l'altitude du terrain. Cette mesure est différente de celle des photographies, car les caractéristiques géométriques de la prise de vue sont différentes (la photo est un instantané du paysage depuis un seul point, l'image S.P.O.T. sera le résultat de l'analyse continue, ligne par ligne, du paysage vu depuis chacun des points de l'orbite).

Cependant l'utilisation d'appareil de restitution photogrammétrique analytique est possible et des ingénieurs IGN ont réalisé des logiciels pour l'appareil TRASTER fabriqué par MATRA (x) de façon à rendre possible cette exploitation à partir des films photographiques qui seront réalisés par le C.R.I.S.

Il sera alors possible d'obtenir sur ces appareils, d'une part, le tracé planimétrique au 1/100 000 et d'autre part le dessin des courbes de niveau.

Des mesures effectuées sur des simulations montrent qu'une précision de 10 à 20 m peut être atteinte en planimétrie et en altimétrie.

L'utilisation du TRASTER est intéressante pour constituer directement une cartographie numérique, et pour générer un modèle numérique du terrain pouvant être utilisé ensuite pour corriger des images au niveau 3 et produire par exemple des photocartes au 1/50 000.

(x) Dans le cadre d'un contrat de la D.G.R.S.T.

Notons que pour les pays qui ne disposeront pas du matériel du type du TRASTER d'autres procédures pour exploiter les images sont à l'étude sur des systèmes optiques plus simples, utilisés actuellement pour examiner les stéréo-orthophotographies dont un exemple est l'ORTOSTER (x) conçu par l'IGN.

#### — Participation de l'IGN à la commercialisation des produits S.P.O.T.

Avec l'accord du gouvernement français il va être procédé très prochainement à la constitution d'un service de commercialisation des produits S.P.O.T. appelé SPOT-IMAGE et financé par le CNES, l'IGN, les autres membres du G.D.T.A. ainsi que certains industriels.

Le rôle de SPOT-IMAGE sera d'être l'interface entre les producteurs de produits S.P.O.T. et les utilisateurs. Cette société fera connaître dans le monde entier le programme S.P.O.T. et ses produits, commercialisera les images réalisées par le C.R.I.S. ainsi que certains produits dérivés (images en couleur composée, agrandissements photographiques).

SPOT-IMAGE pourra également diffuser les images de niveau 3 ou les produits de niveau 4 réalisés par l'IGN dans certains pays.

#### — Autres actions de l'IGN dans le programme SPOT.

Pour préparer les futurs utilisateurs à l'exploitation des images SPOT l'IGN participe d'une part à la réalisation des simulations d'images, avec le CNES dans le cadre du G.D.T.A. et, d'autre part à la formation de spécialistes français et étrangers.

Les simulations d'images sont réalisées conjointement par le CNES et par l'IGN selon un programme établi en collaboration avec des organismes techniques représentant les futurs utilisateurs (IFP, BRGM, BDPA, ORSTOM, INRA, etc...). Ceux-ci évaluent actuellement ces simulations dans différents domaines d'application : géologie, agriculture, études de la végétation, etc...

Deux types de simulations sont réalisés : certaines possèdent les caractéristiques géométriques de S.P.O.T. pour étudier par exemple : les applications cartographiques et l'intérêt de la stéréoscopie dans l'interprétation. Elles sont obtenues à l'aide de photographies aériennes numérisées. L'IGN s'y intéresse particulièrement pour évaluer les précisions planimétriques et altimétriques mentionnées plus haut.

D'autres simulations représentent l'aspect radiométrique des images S.P.O.T. Obtenues à l'aide de scanners aéroportés elles sont utilisées pour évaluer les possibilités d'identification des détails et d'interprétation thématique.

L'IGN les étudie pour préciser les thèmes pouvant faire l'objet d'une cartographie nouvelle avec S.P.O.T., à la fois en France et à l'étranger (en Afrique par exemple ou des expérimentations sont en cours).

La formation des spécialistes en cartographie spatiale est assurée par l'IGN soit dans le cadre des cours de l'École Nationale des Sciences Géographiques ou des stages dans les services de production et de recherche de l'IGN, soit dans celui des cours et écoles d'été organisés avec d'autres organismes (CNES, GDTA, Communauté Européenne etc...).

(x) Dans le cadre d'un contrat de la D.G.R.S.T.

## Conclusion :

Importance du projet S.P.O.T. pour l'IGN. L'IGN investit depuis 1979 des sommes importantes, sous forme d'études et de matériels dans le projet S.P.O.T. : plusieurs dizaines de millions de francs seront dépensés avant le lancement du premier satellite en 1984. Les efforts sont indispensables pour mieux adapter les produits et services que peut rendre l'IGN à ses utilisateurs en sachant maîtriser les technologies nouvelles.

S.P.O.T. ne remplacera pas du jour au lendemain la cartographie traditionnelle mais il permettra de la compléter :

— En fournissant plus rapidement des données cartographiques constamment réactualisées aux gestionnaires de notre territoire. L'IGN pourra ainsi mieux remplir son rôle d'organisme national de la cartographie française au service des collectivités nationales ou locales.

— En réalisant plus rapidement et moins cher des travaux cartographiques à l'étranger l'IGN sera plus performant face à la concurrence internationale et pourra ainsi augmenter ses marchés.

La place privilégiée de l'IGN dans la présentation du programme S.P.O.T. est un atout important pour pouvoir atteindre ces objectifs dans la décennie prochaine et ainsi développer son rôle national et international.

# La Géodésie

Claude BOUCHER - Ingénieur Géographe IGN  
Chef du département du traitement de l'information géodésique

Par rapport à d'autres activités de l'IGN, la Géodésie se démarque par un certain nombre de caractéristiques qui lui sont propres : d'une part, c'est avec les levés topographiques l'activité la plus ancienne, à savoir, l'équipement du territoire par un canevas de base permettant la génération des informations localisées (documents graphiques ou numériques) ; mais c'est aussi la contribution au développement d'une discipline scientifique intimement liée à l'Astronomie et à la Géophysique, contribution où se sont illustrés de nombreux ingénieurs géographes de l'Institut Géographique National, et auparavant, du Service Géographique de l'Armée et du Dépôt de la Guerre.

L'avènement de technologies nouvelles telles que l'informatique, avec ses capacités de traitement, de stockage et de miniaturisation, ou telles que les techniques spatiales, avec leurs capacités de mesures globales et répétitives, de transmission de données à haut débit, l'essor des connaissances dans la mécanique céleste du système solaire ou la Géophysique, l'impact de l'électronique, notamment dans le domaine de la métrologie temps-fréquence, ont apporté une contribution décisive à l'évolution de la Géodésie dans ses divers aspects, non seulement par un développement important de ses aspects scientifiques, mais aussi et peut-être surtout, par l'apparition d'activités nouvelles et d'utilisations nouvelles. Désormais, la Géodésie, dans ses applications, n'est plus l'exclusivité des services géographiques nationaux, mais elle se développe aussi dans les agences spatiales, dans les instituts de géophysique, ou dans les observatoires astronomiques. Parallèlement, les utilisateurs ne sont plus seulement les géomètres, les cartographes, mais maintenant, les navigateurs, aussi bien sur mer, dans les airs, que dans l'espace, les océanographes, les centres d'orbithologie, les sismologues...

C'est dans ce contexte que les activités de l'Institut Géographique National doivent être présentées. Nous passerons donc en revue successivement la vocation traditionnelle résidant en l'établissement de réseaux géodésiques (planimétriques et altimétriques), puis les techniques qui ont et auront, dans un avenir proche, un impact certain sur l'évolution de ces activités, et enfin un panorama des applications nouvelles qui se présentent. L'essor des activités géodésiques de l'IGN, pour qu'il se déve-

loppe d'une façon satisfaisante, doit s'appuyer à la fois sur le patrimoine remarquable que constitue l'ensemble des travaux réalisés en France depuis le 17<sup>e</sup> siècle, et sur la spécificité des techniques qui ont été élaborées pour la description géométrique et quantitative de notre territoire national, et plus généralement de l'environnement de la Terre.

## 1) Les réseaux nationaux

### 1-1) Caractéristiques générales

L'objectif général de la géodésie géométrique est de définir des procédés qui permettent de déterminer la position d'un point physique de l'environnement terrestre, c'est-à-dire les coordonnées de ce point dans un système de référence. Les solutions que les géodésiens ont adoptées et développées depuis plusieurs siècles reposent sur les résultats physiques élémentaires suivants :

— La surface topographique terrestre, c'est-à-dire la frontière de la croûte terrestre avec l'atmosphère ou des océans peut être considérée comme rigide dans une première approximation. On peut alors définir des repères terrestres, c'est-à-dire des systèmes de référence tridimensionnels, dans lesquels les points de la surface topographique ont des positions fixes, c'est-à-dire indépendantes du temps.

— Un point de la surface topographique est soumis à une attraction que l'on appelle la gravité, qui est due à l'action combinée de l'attraction gravitationnelle de la Terre et de la force d'inertie d'entraînement due à la rotation du repère terrestre dans l'espace. La gravité est le gradient d'une fonction de potentiel que l'on appelle le potentiel terrestre  $W$ .

— La surface topographique moyenne des océans peut être assimilée, dans une première approximation, à une surface équipotentielle  $W$  du potentiel terrestre précédent. C'est le géoïde. Celui-ci peut être lui-même approximé, à une centaine de mètres près, par une surface mathématique, à savoir, un ellipsoïde de révolution autour de son petit axe, lui-même parallèle à l'axe de rotation de la Terre.

— D'autre part, au voisinage de la Terre, les surfaces équipotentielles sont à peu près parallèles au géoïde, ou, en d'autres termes, si l'on définit l'altitude d'un point de la surface topographique comme étant sa distance géométrique au géoïde, la surface équipotentielle en un point sera à peu près confondue avec la surface d'altitude constante. En d'autres termes, une différence d'altitude sera directement liée au travail du champ de gravité.

Les faits précédents ont permis au géodésien d'utiliser très systématiquement la notion de réseau, c'est-à-dire d'un ensemble de repères matérialisés sur la surface topographique, dont il détermine les coordonnées dans un système de référence terrestre. Sous la restriction précédente, ces coordonnées sont des constantes physiques qui sont déterminées à partir d'un certain nombre de mesures effectuées par les géodésiens. Les informations relatives à la description des repères et à leurs coordonnées sont alors diffusées aux utilisateurs qui peuvent ainsi accéder et identifier le repère et s'appuyer sur lui pour faire des travaux complémentaires. La détermination de la position de points mobiles par rapport à un repère terrestre est du ressort de la navigation, et utilise les résultats de la géodésie, notamment les réseaux géodésiques. On peut distinguer d'une façon pratique cinq types de réseaux, en fonction à la fois des techniques utilisées pour les établir, de leurs spécifications et de leurs utilisations :

#### 1) Réseau géodésique planimétrique

C'est un réseau de repères pour lesquels sont déterminées deux coordonnées planimétriques, soit les coordonnées géographiques (longitude et latitude géodésiques), soit les coordonnées cartographiques obtenues à partir des précédentes par le choix d'une représentation plane de l'ellipsoïde. Plus précisément, on définit un système géodésique par le choix d'un référentiel terrestre dont le centre coïncide avec le centre d'un ellipsoïde géodésique, dont l'axe de rotation est parallèle à l'axe de la rotation terrestre, et dont le méridien origine est parallèle au méridien de Greenwich. Un tel système étant défini dans l'espace, pour tout point de la surface topographique, on associe sa projection orthogonale sur la surface de l'ellipsoïde qui est elle-même déterminée par deux coordonnées, mentionnées ci-dessus.

## 2) Réseau altimétrique

C'est un réseau de repères pour lesquels on détermine l'altitude. Pour cela, on définit un système d'altitudes.

Les deux réseaux précédents constituent traditionnellement l'équipement géodésique de base d'un territoire. L'IGN est chargé de leur établissement pour le territoire métropolitain et pour les départements et territoires d'Outre-Mer. Une présentation plus détaillée de ceux-ci, en ce qui concerne le territoire métropolitain est donnée dans les paragraphes suivants.

## 3) Réseau gravimétrique

C'est un réseau dont on détermine en chaque point la valeur de l'intensité de la pesanteur. Outre ses utilisations scientifiques, un tel réseau est principalement utilisé pour la prospection gravimétrique. Le réseau français est à la charge du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.).

## 4) Réseau astronomique

C'est un réseau dont on détermine en chaque point les coordonnées astronomiques, c'est-à-dire la direction de la verticale locale (direction du gradient de W). Ce réseau est utilisé à des fins internes par les géodésiens ou à des fins scientifiques. Il n'est pas systématiquement publié par l'IGN, sauf pour certains territoires où une géodésie régulière n'existe pas encore. Dans ce cas, les coordonnées astronomiques sont utilisées comme approximation des coordonnées géodésiques pour des travaux cartographiques à petite échelle.

## 5) Réseau tridimensionnel

C'est un réseau pour lequel les trois coordonnées géométriques de l'espace sont déterminées. Ce sont soit des coordonnées cartésiennes tridimensionnelles, soit des coordonnées géographiques en incluant l'altitude au-dessus de l'ellipsoïde, c'est-à-dire la distance du point à l'ellipsoïde de révolution associé au système géodésique. Ces systèmes sont maintenant couramment utilisés en géodésie spatiale et peuvent être également obtenus par combinaison de réseaux planimétriques, altimétriques et de la connaissance géométrique du géoïde.

Comme nous l'avons dit précédemment, cette situation découle à la fois des techniques de mesure utilisées (les réseaux planimétriques utilisent la triangulation et la polygonation, les réseaux altimétriques le nivellement de précision...) et des utilisations diverses (cartographie pour les réseaux planimétriques et altimétriques, études d'écoulement, implantation de réseaux de communication, d'ouvrages... pour les réseaux altimétriques, prospection pour les réseaux gravimétriques...). On peut estimer raisonnablement que dans un avenir relativement proche cette distinction disparaîtra progressivement et sera rempla-

cée par un réseau unique dont on déterminera en chaque repère 7 paramètres physiques : 3 paramètres donnant la position géométrique tridimensionnelle, 3 paramètres définissant le vecteur de gravité, et 1 paramètre définissant le potentiel terrestre. Évidemment, cette évolution devra se faire d'une façon continue, ne serait-ce que parce qu'elle devra incorporer les différentes techniques traditionnelles, ainsi que les résultats existants, et que, d'autre part, l'état d'avancement restera encore pour longtemps très divers en fonction des zones géographiques, ou plus précisément, des zones d'intérêt économique.

### 1-2) Le réseau géodésique planimétrique français

Le territoire français a été couvert depuis 1670 par trois réseaux géodésiques :

- la triangulation de Cassini de Thury, mesurée de 1670 à 1770, qui a servi de canevas d'appui à la carte de Cassini
- la triangulation des Ingénieurs Géographes, dont les travaux de terrain, commencés en 1793 par la mesure de la méridienne de France, de Dunkerque à Barcelone, par Delambre et Méchain, se sont déroulés jusqu'en 1850 ; ce réseau a été utilisé comme canevas de base de la carte de l'État-Major
- la nouvelle Triangulation de la France, entreprise à partir de 1873 par F. Perrier, dont les travaux de terrain sont en cours d'achèvement par l'Institut Géographique National, et qui sert de système planimétrique légal pour les travaux de levés sur le territoire français (arrêté interministériel du 20 mai 1948), et qui sert donc en particulier de canevas de base de la carte topographique au 1/25 000. Le réseau de la Nouvelle Triangulation de la France (N.T.F.) comporte 90 000 points environ, dont 60 000 constituent le réseau principal et 30 000 le réseau complémentaire. Ce dernier est constitué soit de repères naturels, soit de points anciens dont les coordonnées ont été adaptées dans le système N.T.F. Tous les points principaux sont matérialisés par une borne en granit et des repères auxiliaires. Les mesures qui ont été réalisées depuis 1873, en vue du calcul des coordonnées de ces points, sont essentiellement des mesures de directions horizontales par théodolite, établissant ainsi un réseau de triangles à peu près équilatéraux, et dont la longueur des côtés diminue progressivement. On a ainsi un réseau de premier ordre (40 km environ), 2<sup>e</sup> ordre (10-15 km), 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> ordres (quelques kilomètres), les points complémentaires constituant le réseau de 5<sup>e</sup> ordre. Des mesures d'azimuts astronomiques de Laplace, ainsi que des mesures de longueur, sont introduites dans le réseau, soit des bases au fil, soit des mesures électromagnétiques de distances, de plus en plus nombreuses. En particulier, ces dernières mesures permettent de réaliser, dans des zones montagneuses notamment, des polygonales pour établir le réseau de détail (3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> ordre), sans néces-

siter l'équipement systématique qu'exige la triangulation. Ces techniques introduisent donc une certaine modulation dans la densité des points géodésiques sur le territoire français, permettant de mieux équiper les zones de développement important où un réseau dense est nécessaire.

### 1-3) Le réseau français de nivellement de précision

En complément des réseaux planimétriques, le territoire français a été couvert successivement depuis 1857 par trois réseaux de nivellement de précision :

- le réseau de P.A. BOURDALOUE, créateur des méthodes de nivellement géométrique modernes. Ce réseau, établi de 1857 à 1864, s'étendait sur un circuit de 15 000 km et constituait l'un des premiers réseaux de nivellement de précision nationaux.

- le réseau de C. LALLEMAND, projeté vers 1878, commencé en 1884, et continué jusque dans les années 60. Ce réseau couvrait l'ensemble de la France et était divisé en ordres (1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> ordres). Le système d'altitudes, dit Nivellement Général de la France, a été adopté comme système officiel pour le territoire français.

- enfin, le réseau IGN 1969, qui a été entrepris en 1962 et continué depuis. Ce dernier consiste en une réfection complète du réseau du Nivellement Général de la France, et dans l'adoption d'un nouveau système d'altitudes (IGN 1969).

Sous sa forme actuelle, le réseau français de nivellement de précision comportera, une fois achevé, environ 500 000 repères répartis sur 380 000 km de lignes de nivellement. L'utilisation de niveaux automatisés, conjointement aux techniques de nivellement motorisé et de saisie automatique des données sur le terrain, permet d'entrevoir une amélioration sensible dans la productivité et dans la précision de ces techniques. Ceci est d'autant plus appréciable que la réfection périodique d'un réseau de nivellement national est une nécessité imposée, non seulement par la disparition des repères, mais aussi par les mouvements verticaux inévitables du sol.

### 1-4) Évolution de l'équipement géodésique de base

L'utilisateur juge la qualité de l'équipement géodésique national par la valeur de l'information qu'il possède (description des repères et coordonnées), et l'adéquation entre cette information et la réalité physique du terrain. Celle-ci peut être altérée par 3 phénomènes :

- l'inexactitude des coordonnées
- la disparition des repères sur le terrain
- le faible mouvement des repères dû à des instabilités locales du sol ou des causes géophysiques (mouvements de l'écorce).

Pour satisfaire ces exigences, un certain nombre de techniques sont à notre disposition :

— la réfection qui est le rétablissement systématique d'un réseau (mesure, bornage et calcul)

— la révision est le rétablissement de certains repères disparus, en faisant des mesures sur le réseau environnant existant

— la gestion informatisée de l'ensemble des informations (banque de données géodésiques), qui permet de satisfaire de nombreux besoins :

- conservation sûre de l'ensemble des informations nécessaires, soit pour des recompensations d'ensemble des réseaux, soit pour le contrôle lors de l'introduction de mesures nouvelles (révision)

- traitement systématique et rigoureux de l'ensemble des informations disponibles, permettant d'obtenir la meilleure exactitude possible pour les coordonnées

- analyse des variations temporelles des mesures et des coordonnées

- mise à jour rapide de l'information relative à la description et à l'état des repères physiques sur le terrain

- diffusion souple et rapide des informations à l'utilisateur : diffusion standard sur divers supports (photocomposition, COM, listages informatiques), diffusion sélective en fonction des questions d'un utilisateur (recherche documentaire, diffusion rapide par interrogation directe de la banque de données par télétraitement et télétransmission).

A l'heure actuelle, l'IGN termine la réfection du réseau géodésique de la Nouvelle Triangulation de la France, et a d'ores et déjà entrepris des opérations de révision de ce réseau. En ce qui concerne le réseau de nivellement de précision, une politique de réfection périodique est rendue inévitable par l'existence des mouvements verticaux très sensibles de l'écorce terrestre, ainsi que des instabilités locales. En complément de cela, l'IGN étudie en ce moment les possibilités qu'offrirait l'implantation d'une banque de données géodésiques, tant au point de vue de la conservation des mesures, des possibilités de recompensation des réseaux, ainsi que des prestations nouvelles à l'utilisateur en matière de documentation informatisée.

## 2) L'évolution des techniques

On peut classer un peu arbitrairement l'évolution des techniques selon trois rubriques :

- la modélisation
- les mesures
- les traitements

### 2-1) Techniques de modélisation

Les études et développements théoriques en géodésie ont été très nombreux ces der-

nières années, poussés autant par les efforts de compréhension que par la nécessité d'établir des modèles satisfaisant les mesures de plus en plus précises que la technologie nous offre. Nous nous contentons de citer ici ces phénomènes sans évidemment entrer dans les détails. Il faut toutefois mentionner que ces efforts se divisent en deux rubriques : soit l'effort de modélisation physique, c'est-à-dire établissement d'équations générales pour les phénomènes de notre environnement, tenant compte, non seulement de la géométrie de notre espace, mais aussi des aspects dynamiques et même relativistes (la géodésie spatiale a joué en ce sens un rôle fondamental) ; soit un effort de modélisation statistique, c'est-à-dire permettant un traitement adéquat de nombreuses données, afin de faire une estimation satisfaisante de paramètres inconnus qui intéressent l'utilisateur (par exemple, les coordonnées d'un point).

### 2-2) Les techniques de mesure

Nous ne retiendrons ici que les techniques qui ont à la fois un intérêt en géodésie géométrique et une capacité de précision qui devrait en faire, dans les années à venir, des outils de premier ordre, si cela n'est déjà fait.

#### — L'arpentage inertiel

L'intégration de mesures accélérométriques réalisées sur une plate-forme inertielle dont on connaît la direction dans l'espace grâce à l'utilisation de gyroscopes, permet de déterminer les différences de coordonnées tridimensionnelles par rapport à un point de calage origine. Ces techniques, utilisées sous une forme bidimensionnelle en navigation aérienne ou maritime, permettent désormais, utilisées sur un véhicule terrestre ou un hélicoptère, d'obtenir des précisions intéressantes pour l'établissement de réseaux géodésiques. A l'heure actuelle, une précision de l'ordre de 50 cm peut être obtenue pour des traverses de l'ordre de 50 km. Dans un proche avenir, cette précision devrait pouvoir être sensiblement augmentée. Parmi les avantages de cette technique, on peut noter son insensibilité à l'environnement atmosphérique, son entière autonomie et sa facilité d'emploi. Néanmoins, l'investissement initial reste considérable pour une précision qui peut être obtenue à l'heure actuelle par des techniques concurrentes.

#### — Mesures électromagnétiques de distance utilisant plusieurs longueurs d'ondes

Les incertitudes sur la modélisation de la réfraction atmosphérique restent l'une des causes les plus importantes des erreurs résiduelles dans les mesures électromagnétiques de distance classique, même à ondes lumineuses. C'est pourquoi les appareils utilisant simultanément 2 ou 3 longueurs d'ondes (2 optiques + 1 radio) permettent différenciellement d'éliminer cet

effet et d'obtenir ainsi une meilleure précision. Une exactitude relative de  $10^{-7}$  pourrait être atteinte avec de tels instruments.

#### — Les techniques de géodésie spatiale

Les techniques de géodésie spatiale utilisables en géodésie géométrique sont multiples et ont subi un développement incessant, tant au point de la diversité que de la précision atteinte, depuis le lancement du premier satellite artificiel. Elles utilisent des liaisons électromagnétiques (laser ou ondes radio-électriques) entre des points situés à la surface topographique de la Terre et des points situés dans l'espace, soit sur un satellite artificiel, soit sur une sonde spatiale ou un autre corps du système solaire, soit même des objets naturels galactiques (étoiles) ou extra-galactiques (quasars). Nous n'essaierons pas de donner un panorama général de ces diverses techniques, mais nous citerons quelques exemples particulièrement marquants pour lesquels l'IGN consacre, dans le cadre du Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale (G.R.G.S.) un intérêt tout particulier :

- la mesure de l'effet Doppler sur ondes radio émises par un satellite du système Transit.

Cette technique a été très largement étudiée et développée par l'IGN depuis 1974 et est maintenant utilisée comme méthode opérationnelle pour l'établissement de réseaux géodésiques, notamment pour l'exportation. Cette technique permet de réaliser des points avec une précision de 50 cm dans un système mondial de référence.

- l'interférométrie à très longue base (VLBI).

Cette technique permet de mesurer le vecteur entre deux radio-télescopes qui observent simultanément une radio-source extra-galactique et qui, par corrélation a posteriori, permettent de déterminer la différence du temps de propagation de l'onde reçue entre chacun des télescopes, d'où, combinant les mesures effectuées sur plusieurs radio-sources à différents instants, la possibilité de déterminer ce vecteur avec une exactitude qui peut atteindre quelques centimètres pour des distances de plusieurs milliers de kilomètres. Ceci en fait à l'heure actuelle la meilleure technique de positionnement géodésique à l'échelle mondiale.

- système radio-électrique différentiel avec récepteur portatif.

L'intérêt plus particulier de l'IGN réside dans le développement de récepteurs très portatifs, permettant de faire des mesures simultanées sur une source spatiale et permettant d'obtenir le vecteur interstations avec une très bonne précision, pour des distances allant jusqu'à quelques centaines de kilomètres. Il semble que, en utilisant les ondes radio-électriques, soit par mesures de distance ou mesures Doppler, ou radio-interférométrie, on puisse obtenir cette distance à une précision centimétrique, ce qui serait une contribution majeure, voire

même révolutionnaire, pour l'établissement des réseaux géodésiques, et pour la géodynamique (voir paragraphe suivant). A cet égard, l'utilisation du système de navigation américain NAVSTAR GPS pourrait offrir une possibilité de réalisation concrète. D'autres projets sont également étudiés dans un cadre plus spécifiquement français ou européen par le G.R.G.S. Enfin, il est également possible de miniaturiser, sous une forme relative, les techniques VLBI, et ainsi d'obtenir cette précision, mais sans toutefois disposer de stations réellement portatives. Seule, l'utilisation d'une source artificielle plus forte, telle que l'émission d'un satellite, permet de miniaturiser réellement les récepteurs.

En résumé, les méthodes de géodésie spatiale permettent à l'heure actuelle d'établir des coordonnées dans un système mondial à la précision de 1 mètre et, en position relative, sur des distances de quelques centaines de kilomètres, à une précision de quelques décimètres. Dans un avenir proche, on pourra obtenir la précision de quelques décimètres dans un système mondial et la précision de quelques centimètres en position relative sur 100 ou 200 kilomètres. Ceci est alors une sérieuse remise en cause des conceptions traditionnelles des réseaux géodésiques.

### 2-3) Techniques de traitement

Les techniques de traitement sont essentiellement influencées par l'évolution de la technologie informatique. On notera à ce sujet l'utilisation de micro-processeurs, l'utilisation de la télé-transmission de données, les capacités de stockage accrues sous forme très compacte et utilisable dans les opérations de terrain.

Par ailleurs, il faut rappeler l'outil essentiel que constituent les bases et banques de données en géodésie, discipline qui par nature conserve et revalorise un patrimoine métrologique qui remonte à plusieurs siècles. Cette situation, comparable à celle de l'astronomie ou de la géophysique, doit être considérée avec sérieux et doit retenir l'attention, au risque de voir des destructions irréversibles sur la mémoire de notre environnement terrestre et planétaire.

## 3) Les applications nouvelles de la géodésie

Nous retiendrons quatre grands types d'applications de la géodésie géométrique, à l'exclusion des applications de la géodésie touchant la détermination du champ de potentiel terrestre (pesanteur, coordonnées astronomiques, géoïde, champ,...) :

### 3-1) Diffusion de la documentation géodésique

L'utilisation de banques de données géodésiques permet d'assurer la diffusion de la documentation géodésique, c'est-à-dire la description des repères et la valeur des coordonnées, sous une forme nouvelle et beaucoup plus souple, et donc susceptible de répondre mieux aux demandes des utilisateurs classiques (géomètres, cadastre, topographes), et d'inciter de nouveaux utilisateurs, notamment par une possibilité de diffusion régionale de l'information, tout en gardant un contrôle centralisé. Par ailleurs, l'informatique permet une mise à jour très rapide et cohérente des informations que les travaux de révision des réseaux peuvent apporter.

### 3-2) Transformation de systèmes géodésiques

La multiplicité des systèmes géodésiques locaux et régionaux, utilisés également pour la cartographie, conjointement avec l'apparition de techniques nouvelles, non plus basées sur l'interpolation par des mesures à visées directes, mais par des mesures sur satellite, de nature essentiellement mondiale, font que la connaissance des formules de transformation entre les divers systèmes géodésiques doit être de plus en plus acquise et utilisée. A cet effet, l'IGN développe une base de données de systèmes de référence qui pourra être interrogée par les divers utilisateurs. On note parmi eux les organismes qui effectuent des recherches géologiques, géophysiques, ou de forage en mer, pour lequel l'implantation de points au large est un problème permanent qui doit être maintenant r é s o l u

à une précision de l'ordre de quelques mètres ; la navigation aéronautique, la navigation maritime, pour lesquelles les exigences croissantes de sécurité imposent des systèmes de plus en plus précis, qui doivent donc s'appuyer sur des stations de poursuite dont les coordonnées sont définies dans un système de référence unique et avec une précision compatible avec la précision des mesures ; l'orbiteographie des missiles et des satellites artificiels, ou des sondes interplanétaires ; la cartographie spatiale et la télédétection (par exemple, l'utilisation de tels fichiers est nécessaire au projet français SPOT qui aura une résolution de 10 mètres).

### 3-3) Système de référence géodésique terrestre et rotation de la Terre

L'établissement et la maintenance d'un système de référence géodésique terrestre à une précision décimétrique ou centimétrique, compatible avec les exigences de la géodynamique, est l'un des objectifs principaux de la géodésie dans les années à

venir. Un Service International devrait être établi afin d'effectuer le contrôle de ce système et d'en publier les paramètres de rotation par rapport à une référence inertielle. La France, par le biais du G.R.G.S., souhaite participer activement à ce Service International. L'IGN a une part active à jouer dans ce cadre. La bonne connaissance d'un tel système permettra de faciliter grandement les opérations géodésiques de par le monde.

### 3-4) Géodynamique régionale

En dehors des aspects globaux de la cinématique terrestre, relevant davantage des applications du paragraphe précédent, l'étude des mouvements régionaux de l'écorce terrestre est un sujet où l'apport de la géodésie devrait se développer considérablement à l'avenir. D'ores et déjà, des réseaux de surveillance ont été implantés, avec la participation de l'IGN, notamment pour l'île de la Réunion, et l'utilisation de mesures électromagnétiques de distance de très haute précision mentionnées précédemment s'avèrera fondamentale. Néanmoins, la détermination de mouvements sur une échelle de 100 à 200 km ne sera correctement réalisée que par l'utilisation de systèmes à base spatiale, permettant la précision centimétrique. Ce système, complètement indispensable d'un réseau mondial qui définit le système terrestre global, tel qu'il est mentionné au paragraphe précédent, sera un outil majeur pour la géodésie et la géodynamique des années 1990. Des prototypes en existent déjà.

## 4) Conclusion

Nous voyons ainsi que la géodésie, dans ses aspects géométriques, continue à développer largement son héritage séculaire. Il est certain qu'à l'heure actuelle la géodésie dans son ensemble, c'est-à-dire en considérant également la géodésie physique et la géodésie planétaire, subit une évolution importante, notamment par les techniques qu'elle emploie et les hommes qui la font. Il semble toutefois évident que l'IGN, par sa tradition et son héritage reçu de ses prédécesseurs, a acquis une compétence qui restera irremplaçable dans l'évolution de ces techniques ; aussi bien dans l'organisation de missions de terrain, dans des conditions parfois difficiles, que dans la gestion des informations accumulées depuis des siècles, dans leur revalorisation et dans leur interprétation. Par ailleurs, le travail conjoint avec d'autres organismes qui détiennent des compétences complémentaires (technologie spatiale, géophysique, astronomie,...) reste un atout pour un développement réel des activités géodésiques en France. Le G.R.G.S. est un exemple réussi d'une telle collaboration. ■

# LA GÉODÉSIE APPLIQUÉE AU GÉNIE CIVIL ET A L'INDUSTRIE

par Jean DUCLOUX - Ingénieur en chef Géographe IGN  
Chef du Service de la Géodésie du Nivellement et de la Métrologie



*Lecture et mise en place d'une mesure de base.*



La maîtrise acquise par les géodésiens dans la mise en œuvre d'appareils de précision les a amenés tout naturellement à étendre leur domaine d'activité. Que ce soit dans l'industrie ou dans le génie civil les mesures d'angles et de distances représentent dans bien des cas le mode de contrôle à la fois le plus précis et le plus sûr. La situation se présente presque toujours de la même façon pour le géodésien : sur le site à contrôler, un ensemble de points (quel que soit leur matérialisation) est considéré comme "connu" ou "stable", et il lui est demandé de déterminer la position ou le déplacement d'un autre ensemble de points.

L'estimation de la précision espérée est fonction de plusieurs critères. Il importe, en premier lieu, de bien distinguer les résultats obtenus en planimétrie de ceux obtenus en altimétrie.

## 1) En planimétrie

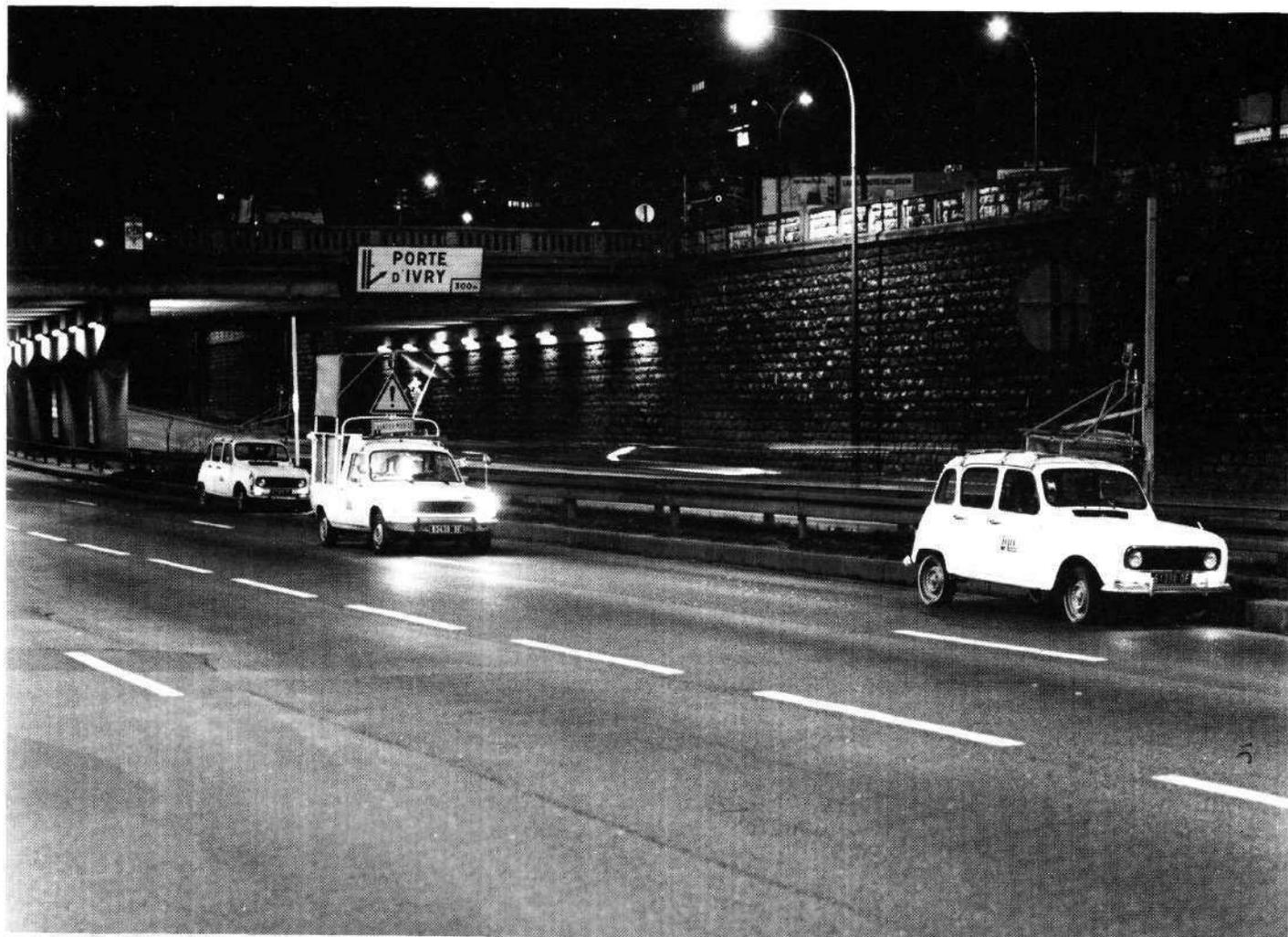
C'est grosso modo, la dimension du chantier qui fixe les ordres de grandeur. Sur un ou même plusieurs kilomètres, on obtiendra une indétermination qui pourra atteindre 4 à 8 mm (en écart-type). Le chantier se réduisant on obtiendra 1 ou 2 mm, voire même, sur des sites particuliers, quelques dixièmes de millimètres.

## 2) En altimétrie

Les mesures d'angles zénithaux (méthode du nivellement dit "géodésique") permettent d'obtenir des précisions comparables à celles de la planimétrie, notre méconnaissance de la réfraction atmosphérique limitant de facto nos possibilités. Il n'en est plus de même avec le nivellement direct ; cette technique, à la fois très simple et très minutieuse, permet d'obtenir des précisions qui se chiffrent en dixièmes de millimètres. La mise au point, effectuée ces dernières années à l'IGN, du nivellement motorisé, devrait en étendre les possibilités.

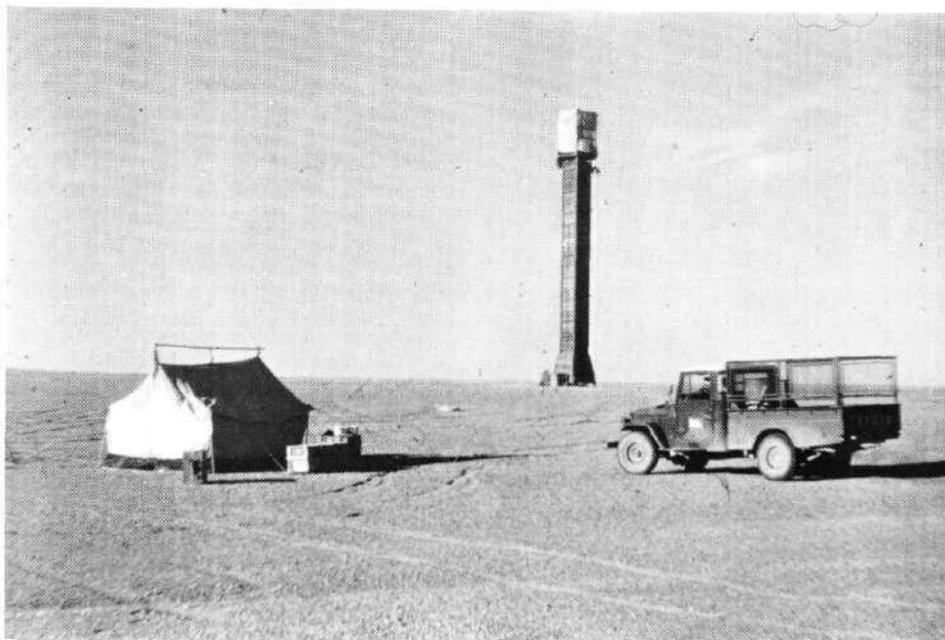
Les exemples d'application suivants, classés selon leur ampleur, indiquent bien le domaine d'application de la métrologie géodésique :

- installations industrielles : centrales nucléaires, anneau de collision d'Orsay
- ouvrages d'art isolés : nombreux ponts et barrages sur tout le territoire national
- contrôle d'implantation de voies : extension du réseau RATP, métro de Caracas
- ouvrages routiers : autoroute d'accès au tunnel du Fréjus, boulevard périphérique parisien. Dans ce dernier cas, qui était un contrôle de stabilité altimétrique, le travail a été effectué de nuit par nivellement motorisé (voir illustration).

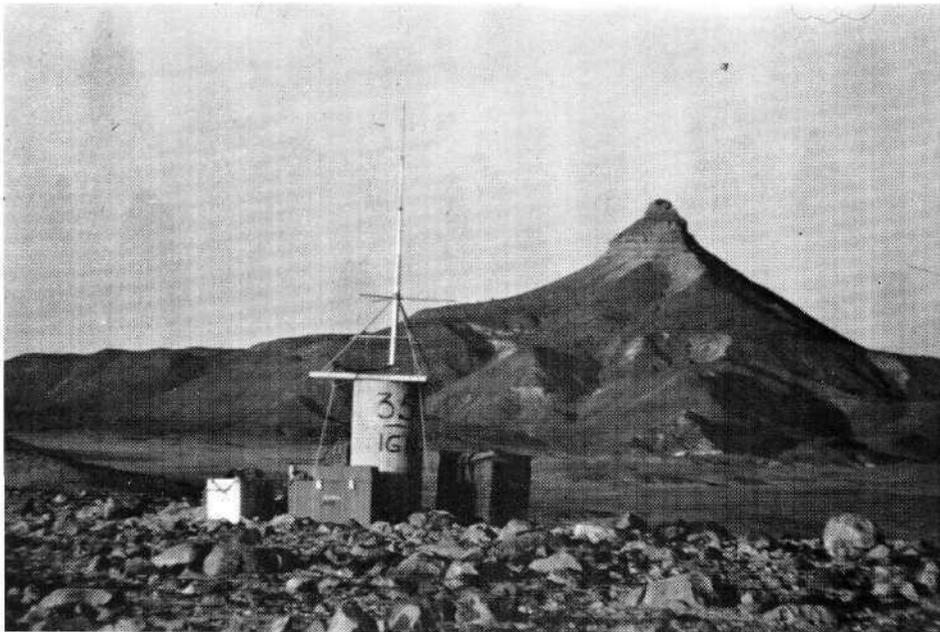


*Nivellement motorisé sur le périphérique de Paris.*

## LES TRAVAUX GÉODÉSIQUES DE L'IGN A L'ÉTRANGER



*Pilier d'observation en Lybie.*



*Récepteur J.M.R. en station.*

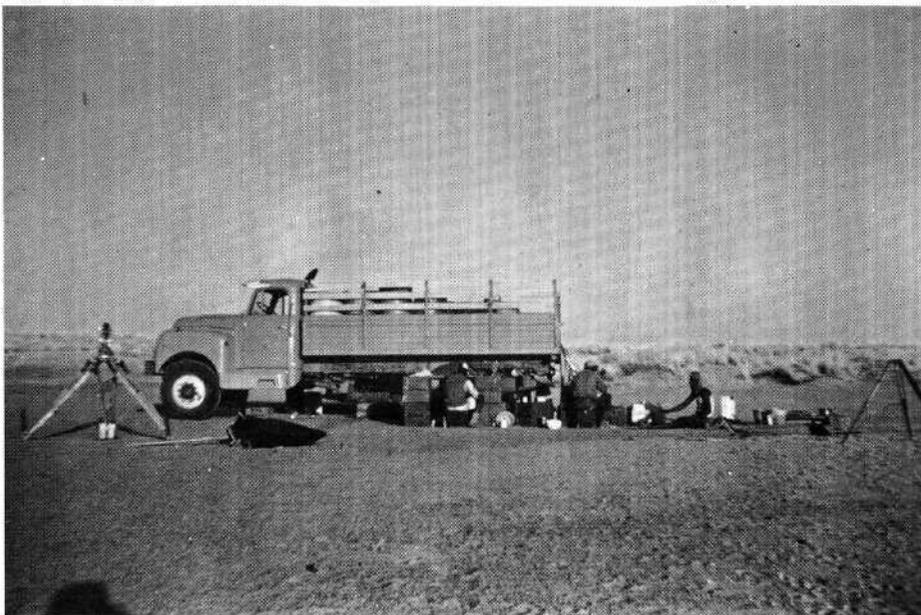
L'accomplissement des tâches de vocation sur le territoire national exige la mise en œuvre d'un potentiel important, aussi bien en personnel technique qu'en matériel. Que ce soit pour le réseau géodésique ou pour le nivellement, l'IGN dispose d'un cer-

tain effectif d'ingénieurs et de techniciens, dans lequel il peut puiser pour exporter son savoir-faire.

Les nombreux travaux exécutés à l'étranger au cours de ces dernières années por-

tent schématiquement sur deux types d'activités : d'une part des travaux très localisés, effectués le plus souvent dans le cadre de l'aménagement d'une région, d'autre part des travaux portant sur de vastes zones où il est demandé à l'IGN de créer, ou de densifier, un réseau géodésique. C'est de la première catégorie que relèvent la plupart des très nombreuses missions exécutées en Afrique francophone par les fonctionnaires de l'IGN, alors que les travaux effectués ailleurs se rattachent plutôt à la seconde catégorie.

*Travaux de géodésie en Lybie.*



Pour la création d'un réseau neuf en pays étranger, les géodésiens doivent mettre en œuvre toutes leurs techniques : astronomie, mesures d'angles et de distances, utilisation des satellites Transit, calculs de compensation, et cela dans des conditions qui ne sont pas toujours confortables. Sur les territoires des pays suivants se sont déroulés des travaux qui figurent parmi les plus importants : Équateur, Jordanie, Lybie, Arabie Saoudite (désert du Rub-al-Khali).

# informatique et cartographie automatique : l'établissement de banques de données géographiques à l'I.G.N.

par Jean DENEGRÉ - Ingénieur en Chef Géographe IGN  
Chef du Service des Applications Nouvelles  
et Patrice FOIN - Ingénieur Géographe IGN  
Chef du département de télédétection et cartographie spatiale

L'acquisition, l'exploitation et la gestion de données géographiques numériques, ensemble de techniques désignées sous le nom de "géomatique", correspondent à l'IGN à une triple nécessité que rend évidente l'évolution des besoins cartographiques :

— une nécessité interne d'abord, qui est l'**automatisation** de la production des cartes nouvelles, c'est-à-dire l'amélioration par l'informatique des techniques traditionnelles relativement artisanales de levé et de rédaction cartographiques ;

— une demande externe ensuite, qui est la **diversification** des produits cartographiques, souhaitée par les usagers, et portant généralement sur des produits non classiques (photocartes, fonds de plan numériques, répertoires, cartes dérivées, perspectives...);

— une demande externe enfin, mais à un niveau supérieur, qui est l'**informatisation** d'ensemble de la cartographie de base et l'établissement d'une banque de données géographiques au niveau national.

On notera que ces objectifs sont successivement emboîtés et par conséquent étroitement corrélés. A titre d'exemple, la numérisation du relief d'une carte topographique à 1/25 000 permet d'automatiser la rédaction du relief de la carte dérivée à l'échelle du 1/50 000 ; elle permet également d'établir, à la demande, d'autres produits dérivés (cartes de pente, d'ensevelissement, orthophoto...) et elle prend finalement place dans un système général d'information géographique à usage le plus large.

Conséquence des besoins indiqués ci-dessus, la numérisation de données géographiques d'origines et de natures très diverses est effectuée par l'IGN\* dans le cadre de l'automatisation de ses nombreuses chaînes de production. Dans un but de simplification, on peut regrouper les sour-

ces d'information en amont de cette numérisation en trois catégories :

- les photographies aériennes (numérisées sur stéréo-restituteur photogrammétrique)
- les cartes existantes (numérisées par lecture manuelle ou automatique)
- les images spatiales (numérisées le plus souvent directement lors de la réception au sol)

Une quatrième source d'information, issue des levés sur le terrain, peut être considérée, lorsque ces levés sont reportés graphiquement (cas des cartes géologiques, pédologiques, de végétation etc...), comme des cartes existantes, et rentre donc dans la seconde catégorie indiquée ci-dessus. Lorsqu'il s'agit par contre de données quantitatives (type "recensement"), leur numérisation et leur prétraitement sont du ressort des services spécialisés (INSEE, SCEES, IFN...) et ne seront donc pas examinés ici.

Après une description rapide des deux premières catégories de numérisations, effectuées à partir des photos aériennes et des cartes existantes, (les traitements d'images spatiales étant décrites dans les exposés sur la télédétection), le présent exposé donnera un aperçu des applications qui en sont tirées et du système d'information GITAN développé par l'IGN pour exploiter ses propres données et les mettre à la disposition des utilisateurs, en s'aidant de toutes les ressources de "l'infographie"\* et de la télématique.

## L'informatisation des données cartographiques et photographiques

1 - La photogrammétrie numérique est

généralement appliquée aux grandes et moyennes échelles, à l'aide de photos aériennes issues de la couverture photographique nationale, du 1/15 000 au 1/60 000. Appuyée sur l'emploi de stéréo-restituteurs à enregistreurs magnétiques, elle permet l'acquisition de données topographiques en 3 dimensions (planimétrie et altimétrie), et l'obtention assistée par ordinateur de cartes topographiques à diverses échelles à partir d'une même restitution. Bien entendu le processus complet comporte de nombreuses phases d'intervention manuelle, comme la vérification des dessins de contrôle, la manipulation et la correction des données sur console, de visualisation interactive. La grande densité/complexité des objets numérisés, liée à la petitesse de l'échelle des photos, autorisée par le gain de précision dû à l'enregistrement numérique direct des coordonnées du modèle photogrammétrique, rend nécessaire en effet de vérifier presque instantanément les corrections faites, et de pouvoir les réitérer rapidement. Cette nécessité est d'autant plus marquée qu'il s'agit de cartes nouvelles, pour lesquelles les problèmes de rédaction peuvent s'ajouter aux problèmes purement informatiques.

\* D'autres données localisées sont bien sûr numérisées par d'autres organismes, dans les domaines qui leur sont propres. Afin de s'informer mutuellement sur l'existence des fichiers géographiques numériques, six organismes français ont formé un groupe de travail permanent ("UNIGEO") : le BRGM, la CFP, le CNEXO, l'IGN, le SHOM, la SNEA.

\* Traduction donnée par le Journal Officiel, rappelons-le pour le terme anglais "computer graphics"...

Rappelons que près de 400 000 hectares ont été ainsi restitués à partir de photos aériennes à 1/14 500, ce qui correspond à des levés à 1/5 000 (ou à 1/2 000, dans ce contexte numérique, l'échelle perd le caractère "figé" qu'elle présente pour une carte classique) sur plus de 40 villes de France.

2 - La numérisation des cartes existantes s'applique, au contraire, lorsque les données sont plus directement accessibles sous forme cartographique, pour des raisons de commodité, ou pour des raisons historiques, ou en raison même de leur nature : tel est le cas, par exemple, des données à très petite échelle (limites administratives ou nationales, contours des continents etc...). C'est ainsi qu'une double chaîne de numérisation a été implantée à l'IGN et assure une production régulière depuis fin 1976. Un grand nombre de fichiers numériques sont issus de cette unité, au rang desquels on peut citer :

- le relief du territoire métropolitain, décrit par les courbes de niveau et points cotés des cartes à 1/25 000

- certains éléments planimétriques principaux des cartes à 1/100 000 (réseaux routier et ferroviaire, forêts, hydrographie etc...)

- les limites communales de certaines régions françaises (1/100 000)

- les 35 000 chefs-lieux des communes de France (répertoire géographique des communes)

- les limites départementales issues de la carte à 1/100 000.

- les contours des continents et les frontières nationales, issus des cartes à 1/5 000 000

- l'hydrographie principale issue de la carte à 1/33 000 000

Le programme principal de numérisation est sans conteste celui de la carte à 1/25 000. Cette échelle est, rappelons-le la plus grande pour laquelle le relief du territoire est entièrement décrit par des courbes de niveau. Cette numérisation entreprise en 1976, se poursuit actuellement au rythme de 3 cartes par jour, et est prévue pour couvrir la totalité du territoire en 1984, le 1/3 du pays étant achevé depuis avril 1981.

En dehors des informations topographiques, d'autres données peuvent également être numérisées à partir de cartes ou de minutes d'auteur, dans des domaines thématiques tels que la pédologie, la géologie, le cadastre, l'environnement... Cette diversité est liée à celle des travaux demandés à l'IGN et se trouve autorisée par la souplesse de la chaîne de numérisation, dotée de ses deux filières : la filière manuelle, par lecture et suivi des lignes assurés par un opérateur, est effectuée sur des tables à numériser à sortie sur bande magnétique et dotée de claviers de codage, tandis que la filière automatique procède par lecture automatique par balayage à l'aide d'un scanner, puis par traitement automatique de "sque-

lettisation" des lignes et de reconstitution de celles-ci. Ce traitement consiste d'une manière générale à passer du "mode trame" (raster mode en anglais), structure liée au balayage, au "mode vecteur" (line mode), structure adaptée dans la plupart des sites informatiques pour le stockage et le tracé des lignes cartographiques.

On notera d'ailleurs que ces deux modes de numérisation ne sont pas concurrents mais complémentaires : certaines données se prêtent mieux à la filière automatique, dans la mesure où la part d'interprétation, au cours de la lecture, y est faible ou, ce qui revient au même, facile à automatiser. Ajoutons que pour les zones de montagne, la numérisation des cartes représente un travail énorme, et se trouve alors relayée par la photogrammétrie numérique, qui apparaît dans ce cas plus économique et parfois plus précise.

On voit qu'il importe, dans des programmes de cette ampleur de disposer de moyens puissants et suffisamment diversifiés pour être sélectionnés alternativement en fonction des types de travaux et des types de terrain.

## Quelques exemples d'applications et de traitements des données géographiques numériques

Dans un souci de simplification, les exemples de cartographie automatique suivants sont regroupés en trois catégories : cartographie topographique proprement dite, cartographie dérivée des modèles numériques du terrain, cartographie thématique et statistique.

### 1 - Cartographie topographique

Il s'agit là de cartes de types classiques, mais tracées automatiquement en majeure partie, et dont la facture peut être adaptée aux besoins : contenu, découpage, symbolisation, échelle enfin.

Un des avantages caractéristiques de l'automatisation est la possibilité de générer plusieurs cartes à partir des mêmes données numériques. Cette possibilité s'applique notamment à la rédaction automatique de cartes à 1/5 000 et à 1/2 000 à partir d'une même restitution photogrammétrique de photographies à 1/14 500 (voir figure 1) ; de même la numérisation d'un levé à 1/25 000 permet d'envisager du même coup la rédaction de la carte à 1/25 000 et de la carte à 1/50 000.

Enfin bien d'autres sous-produits peuvent être extraits de ces numérisations :

### 2 - Cartographie dérivée du relief numérique

### 2.1. Modèles numériques de terrain (M.N.T.)

Dérivés de la numérisation des courbes de niveau cartographiques ou photogrammétriques (mais au futur aussi grâce aux satellites à images stéréoscopiques tels que SPOT), les modèles numériques de terrain (M.N.T.), d'une part conditionnent le "redressement différentiel" des photos, donc le passage de la perspective conique de la photo à la projection orthogonale de la carte, d'autre part décrivent la morphologie du terrain, et permettent d'obtenir des images élaborées de celle-ci, adaptées aux besoins : cartes de pente, blocs diagrammes, coupes topographiques, etc...

Les M.N.T. se présentent généralement sous forme de grilles rectangulaires d'altitudes, et peuvent être obtenues à l'issue de processus plus ou moins complexes d'interpolation à partir de courbes de niveau, de profils ou de points cotés.

A titre d'exemple, la numérisation du relief sur l'ensemble du territoire permet de réaliser un macro-modèle numérique de terrain avec 1 point coté par hectare (grille de pas 100 m), soit un fichier de 55 millions de points.

### 2.2. Orthophotoplans

L'orthophotographie est l'un des principaux sous-produits des M.N.T., et son établissement est typiquement un traitement géométrique d'image que l'évolution technique a porté à un haut degré d'automatisation : les orthoprojecteurs modernes à commande numérique redressent optiquement ou électroniquement un cliché entier en moins d'une demi-heure.

Il va de soi que l'orthoprojection d'un cliché n'est nécessaire que dans le cas où un relief assez accidenté le justifie. Sinon un simple redressement global peut suffire (cas des mosaïques contrôlées). Les documents obtenus présentent les trois avantages suivants :

- richesse des détails visibles (comme pour les photos ordinaires)

- caractère métrique des distances des angles et des surfaces et homogénéité d'échelle (comme pour les cartes ordinaires)

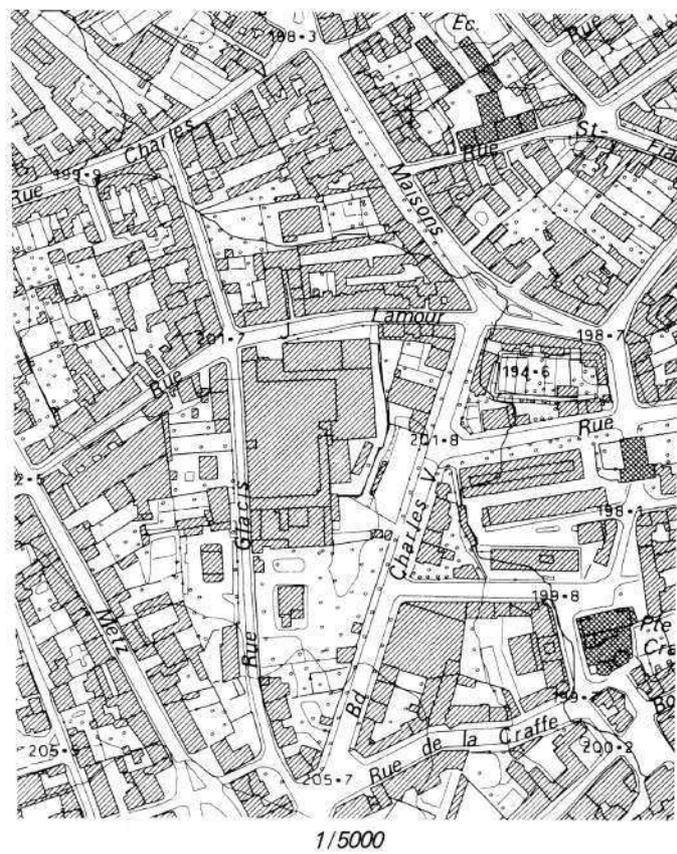
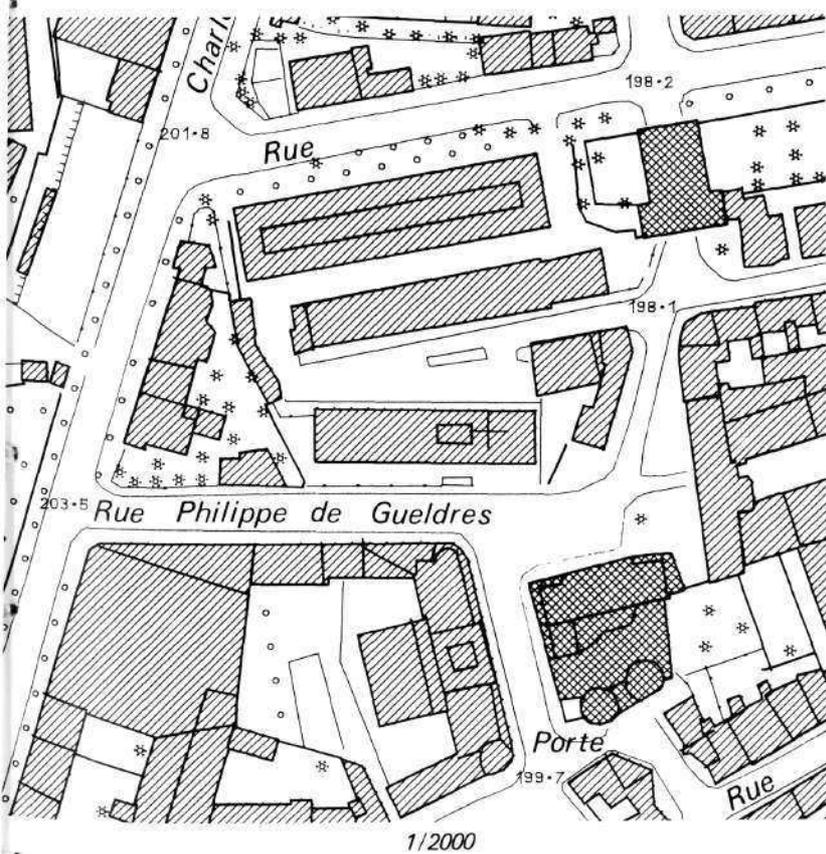
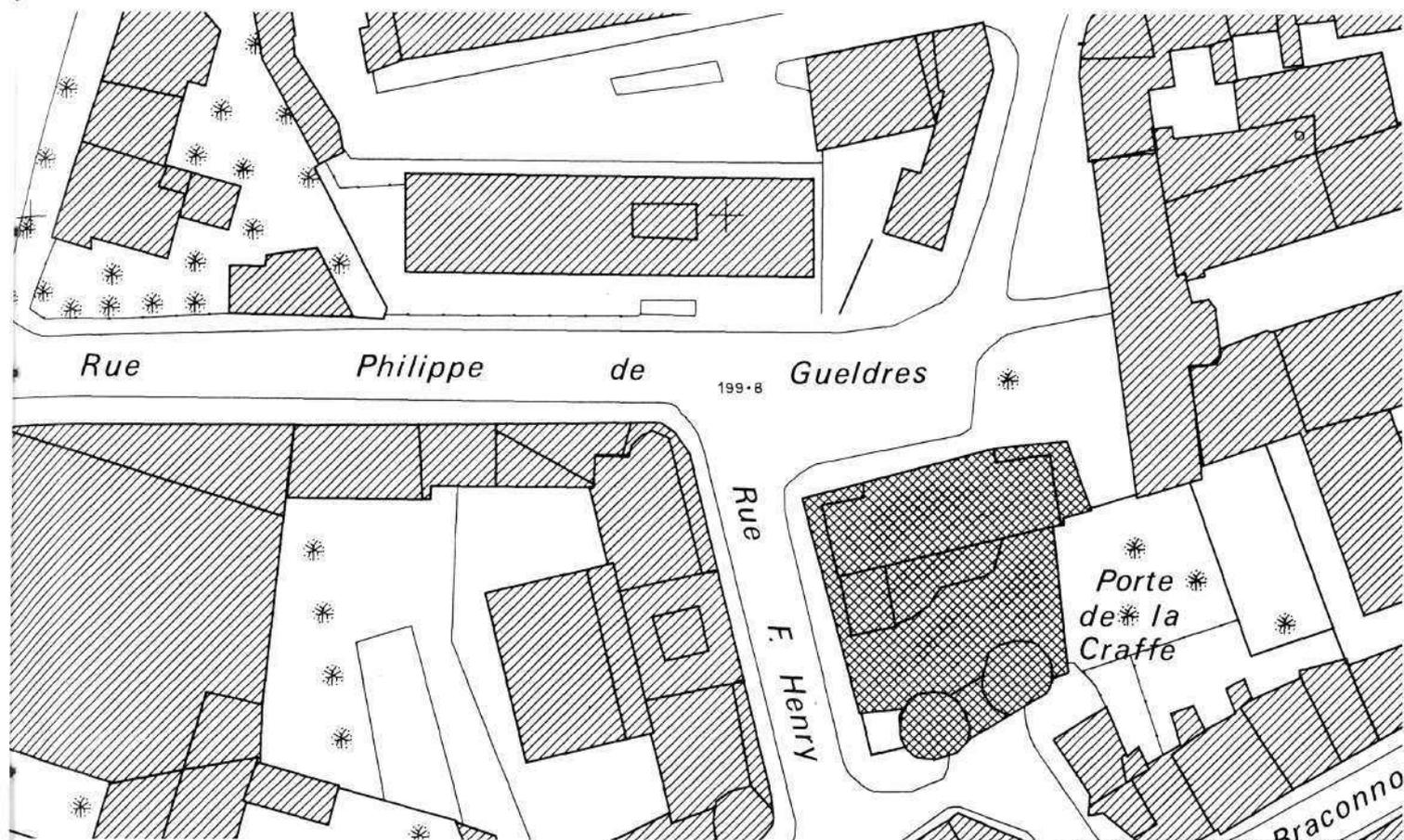
- possibilité d'assembler sans problème les orthophotos ou photos redressées.

En revanche, l'interprétation est laissée au lecteur, sauf à combiner quelques surcharges cartographiques si elles sont disponibles (ex : routes, toponymes, courbes de niveau) au fond photographique. Plus gênante est l'absence de relief perceptible sur l'orthophotoplan : c'est à ce besoin que veut pallier la stéréo-orthophotographie.

### 2.3. Stéréo-orthophotographies

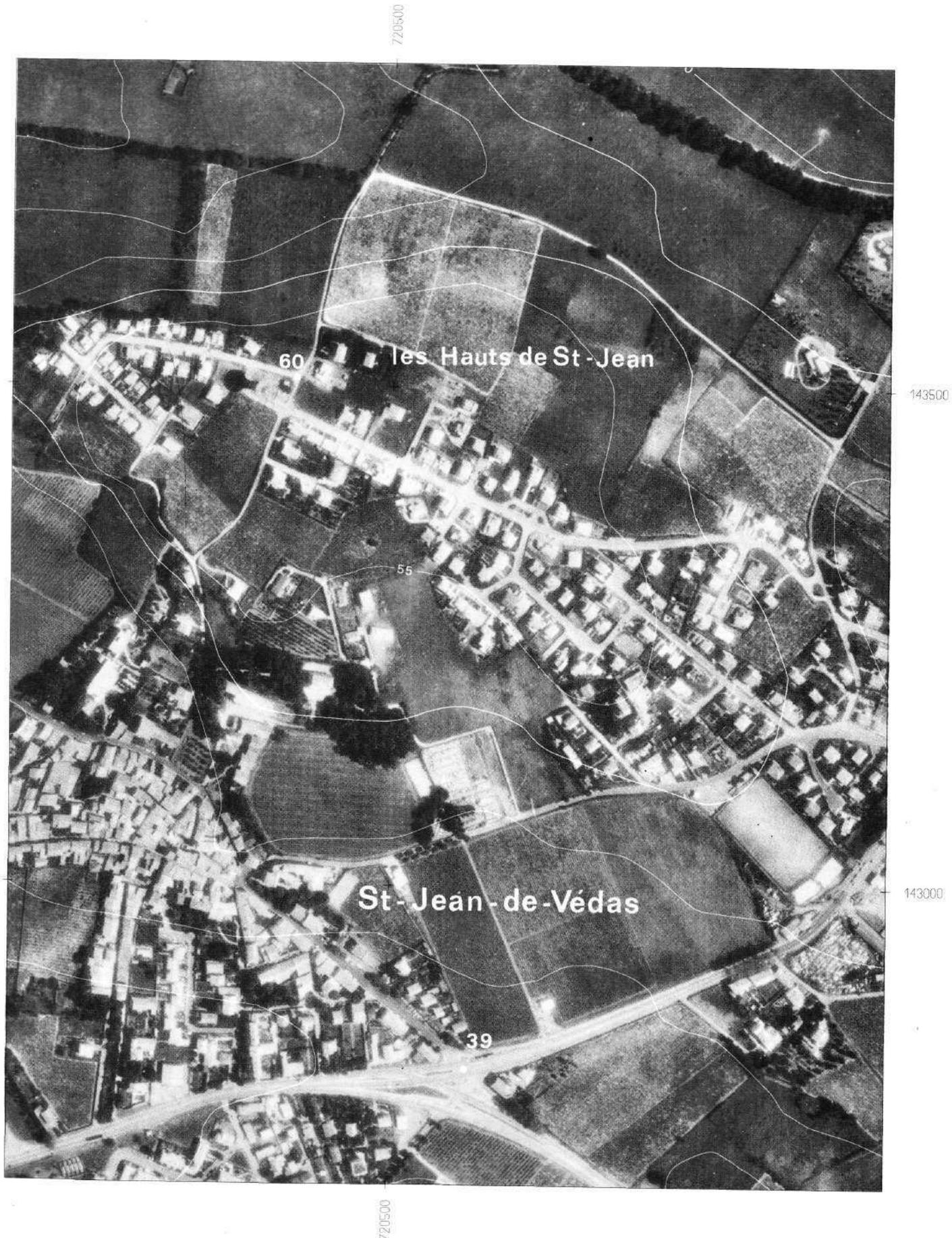
Perspective cylindrique oblique du terrain, la stéréo-orthophoto verticale : chaque point y est affecté d'une parallaxe horizontale fonction de son altitude, ce qui permet

**Fig. 1 — Cartographie automatique à grande échelle par photogrammétrie numérique à partir d'un même fichier de données topographiques.**



*N. B. Les limites parcellaires représentées ici telles qu'apparentes sur les photographies aériennes ne correspondent pas nécessairement aux parcelles cadastrales proprement dites telles qu'elles sont levées par la sous-direction du cadastre.*

# PIGNAN



Photocarte effectuée par l'I.G.N.  
en 1980

**Echelle 1:5000**

© I.G.N.

projection Lambert 3 zone SI  
équidistance des courbes : 5 mètres

la vision stéréoscopique du couple ortho-photo ainsi formé, et donne à la fois l'expression et la métrique du relief. Avec un appareillage élémentaire (stéréoscope, barre de parallaxe), les non-photogrammètres peuvent ainsi procéder eux-mêmes, pour des études de leur stricte compétence, au relevé d'informations planimétriques, altimétriques ou différentielles très fines telles que les lignes caractéristiques du relief, l'épaisseur du couvert végétal la hauteur des constructions urbaines, le gabarit d'un pont ou la hauteur des remblais.

On est ainsi en présence d'une véritable carte en 3 dimensions, qui définit, qualitativement et quantitativement, les paysages dans lesquels un aménageur doit insérer son projet. Une expérience-pilote a été ainsi réalisée avec le SETRA, dans le cadre de la préparation de deux chantiers autoroutiers (Tours et Toulouse). En liaison avec le SETRA l'IGN a également mis au point un appareil photogrammétrique simplifié, l'ORTOSTER, pouvant être relié à un ordinateur de bureau : tout en restant très léger, un tel système permet à la fois la vision et le pointé stéréoscopiques, la restitution photogrammétrique de type classique et l'enregistrement ou le traitement de données numériques.

Restant dans des gammes de coûts très modérés, ces techniques encore en développement devraient ainsi mettre à la disposition des usagers des outils photogrammétriques simples et pratiques, sans doute promis à une grande diffusion.

#### 2.4. Cartes de pentes, de profils, d'intervisibilité, etc...

Le dessin automatique permet d'obtenir, à partir des M.N.T., une représentation de la morphologie du terrain sous des formes adaptées à tel ou tel problème particulier posé par un aménagement. Les représentations peuvent être obtenues aussi par des méthodes analogiques (photo-interprétation) ; cependant l'informatique apporte une souplesse nouvelle et surtout une rapidité sans équivalent (si l'on ne compte pas le temps mis à collecter le M.N.T.). En revanche la précision (ou plutôt la finesse d'analyse) peut être moins grande que par photo-interprétation, dans la mesure où le M.N.T. représente lui-même une approximation (discrétisation) du terrain, et où son traitement peut également introduire des approximations simplificatrices.

Voyons quelques exemples :

- **les cartes de pentes**, obtenues automatiquement à partir des M.N.T., sont des cartes par mailles, c'est-à-dire où le terrain est décomposé en facettes rectangulaires de dimensions homogènes avec celles du M.N.T., et où l'on calcule la plus grande pente de chaque facette (assimilée le plus souvent à un plan), ce qui permet de l'affecter à une classe de pente et de lui donner une représentation cartographique ad hoc. On ne dépasse en général pas 5 ou 6 classes de pente (ex. 0 - 5 %, 5 % - 15 %, 15 % - 25 %, 25 % - 35 %, plus de 35 %) dont les paliers sont définis en fonction du

thème à traiter. Il est d'ailleurs aisé de modifier ces paliers au vu du résultat, ou de changer la représentation des mailles (couleurs, symboles) ou l'échelle, etc... Les temps d'exécution (de l'ordre de quelques heures à peine pour une carte 50 cm x 60 cm au pas de 2 mm) et les coûts restent notablement inférieurs à ceux des méthodes classiques.

- **Les profils ou coupes topographiques** sont le type-même des produits dont l'informatique facilite l'établissement, voire améliore la qualité : sans y insister d'avantage, citons la possibilité quasi-illimitée de multiplier les profils, de changer les rapports d'échelle, d'ajouter des cotes, de calculer des pentes, des cubatures etc...

- **Les blocs-diagrammes** sont une généralisation de la représentation par profils, et fournissent une image perspective du terrain qui peut être opportunément exploitée (plus sans doute pour une étude géomorphologique que pour une étude paysagère). Ici aussi, les paramètres de la perspective peuvent être ajustés à volonté (distance et altitude de l'observateur, direction d'observation...) et réitérés pour des coûts très modestes.

- **Les cartes d'intervisibilité** sont en quelque sorte la synthèse de multiples blocs-diagrammes, où l'on s'intéresse uniquement à la visibilité des points du terrain, à partir d'un certain nombre de points de vue. Ceci fournit une évaluation du paysage en termes de sensibilité visuelle (tel ouvrage sera-t-il vu de beaucoup d'endroits ou non ?) ou d'unités de structure (telle

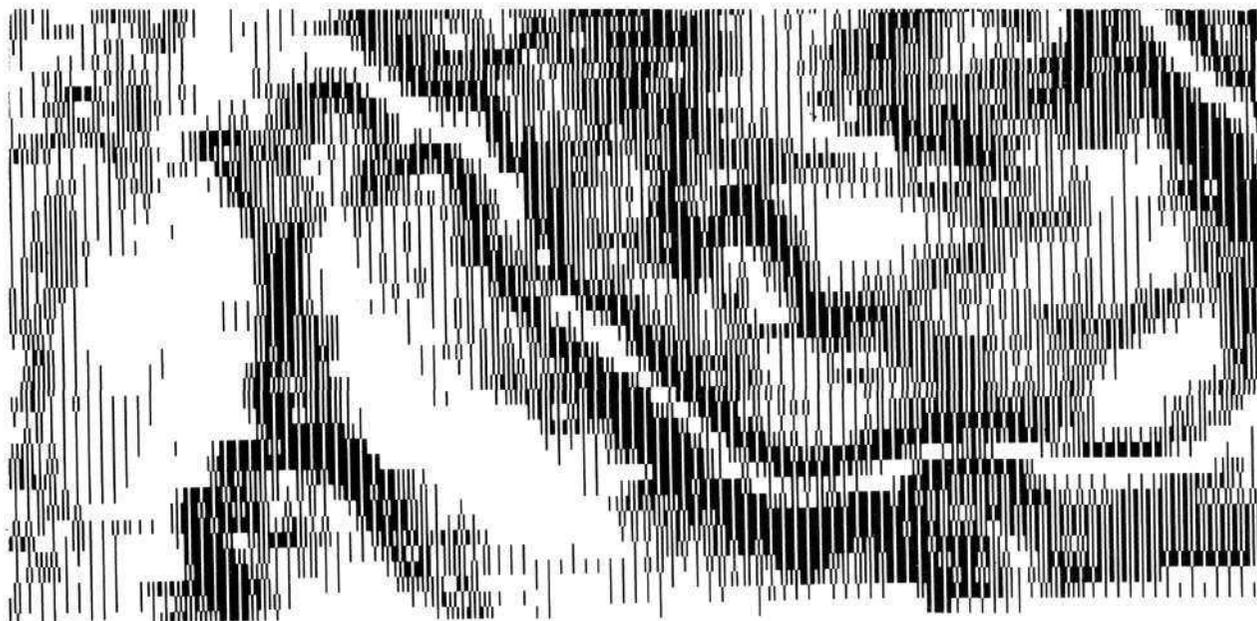


Fig. 3 — Carte de pentes réalisées automatiquement à partir de la numérisation du relief. Carte topographique à 1/25 000 - région de Bellegarde.  
Une légende donne le pourcentage des pentes : - 8 %, 8 à 15 %, 15 à 20 %, 20 à 35 %, + 35 %.

unité de paysage possède-t-elle une structure visuelle "ouverte" ou non, "aperçoit-elle" de nombreux points ?).

De nombreux types de cartes d'intervisibilité peuvent être en fait définis et exploités, et l'on conçoit que dans les études d'impact sur l'environnement, la notion d'intervisibilité soit de plus en plus approfondie et prise en considération. Là aussi, des études ont été menées en commun entre l'IGN, le SETRA, l'IAURIF et le CELAR.

Pour terminer cette présentation d'application des M.N.T., signalons qu'à très court terme ceux-ci seront également à la base de certains processus de rectification des images SPOT (pré-traitements de "niveau 3"), utilisés chaque fois que l'on aura besoin d'images rectifiées au pixel près (10 m ou 20 m) : cas où l'on doit superposer une image à une carte, ou deux images d'obliquités différentes entre elles (études multi-temporelles). En plus de son rôle au sein de la station de Toulouse pour les pré-traitements standards ("niveaux 1 et 2"), l'IGN s'appête donc à assurer lui-même à la demande la rectification "de haute précision" des images SPOT.

### 3 - Cartographie thématique et statistique

Objet d'un autre exposé, la cartographie automatique appliquée aux domaines thématiques (dont statistiques) n'est citée ici que pour mémoire. Rappelons qu'elle concerne essentiellement des données généralement extérieures à celles qu'acquiert l'IGN, comme par exemple issus de levés pédologiques, phytologiques ou géologiques, ou bien de recensements ou d'inventaires de type socio-économique (données

INSEE, données SIROCO, etc...). Dans ce dernier cas, les données statistiques sont combinées avec les données topographiques de l'IGN (fonds cartographiques numérisés) de façon à obtenir automatiquement les cartes finales. La technique utilisée et les résultats sont décrits dans l'exposé "Statistiques et Cartographie" auquel on voudra bien se reporter.

### Vers une synthèse des applications : le système d'informations géographiques GITAN (1)

La masse et la diversité des données accumulées selon les processus qui viennent d'être décrits ont conduit l'IGN à rechercher un système de gestion automatique de ses fichiers (archivage, extraction, sécurité, etc...). En même temps la juxtaposition de chaînes informatiques spécialisées mais possédant en commun certaines fonctions typiquement cartographiques, le conduisait à rechercher également un système **d'exploitation** générale, applicable au plus grand nombre de fichiers possible, et utilisable par le plus grand nombre d'utilisateurs possible.

Les fonctions cartographiques générales demandées à un tel système correspondent fondamentalement aux questions qu'un utilisateur se pose lorsqu'il recherche une carte :

- sur quelle région
- avec quel contenu

- sur quel support
- à quelle échelle
- avec quels symboles
- avec quelles couleurs
- dans quelle projection etc...

(question "où ?")

(question "quoi ?")

(question "comment ?")

On voit qu'un tel système passe par la mise en place d'un dialogue initial avec l'utilisateur, au moyen d'un langage forcément très simple, pour que les questions et les réponses puissent être formulées facilement et rapidement. On voit aussi que les fonctions d'extraction et de rédaction cartographique "à la carte" ne sont évidemment pas disponibles dans les systèmes de gestion de bases de données (S.G.B.D.) classiques : plutôt que d'en recréer un de toutes pièces, ou de compléter un système existant par des fonctions cartographiques, l'IGN a choisi d'élaborer d'abord l'outil cartographique général de toute façon indispensable, avec un minimum de fonctions de gestion, devant être complétées ensuite par un S.G.B.D. classique : ainsi est né GITAN \*, système essentiellement cartographique, mais doté de quelques fonctions de gestion, et devant être appuyé ultérieurement sur un S.G.B.D....

\* Dans le cadre du Comité de la Recherche et du Développement de l'IGN.

GITAN : Gestion Informatisée et Traitement Automatique de Numérisation.

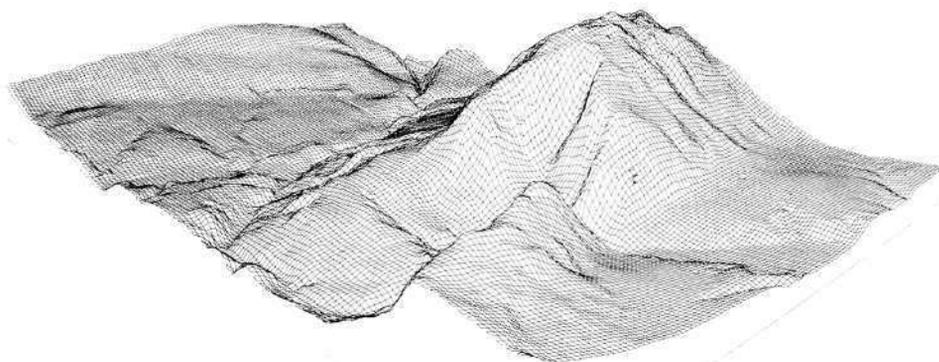


Fig. 4 — Bloc - diagramme.



## Décrivons brièvement l'ensemble de ses fonctions :

### 1) Gestion

Le stockage de l'information a lieu indifféremment sur bande magnétique ou sur disque : étant donné les gros volumes de données à gérer à l'IGN, en particulier en altimétrie, qui ne requièrent pas d'accès fréquents, il a paru plus intéressant au départ de les maintenir sur bande magnétique. Par contre en ce qui concerne des données requérant un accès fréquent (limites administratives) ou si l'on désire utiliser des consoles graphiques pour la mise à jour, le stockage sur disque est recommandé. Des utilitaires permettent de passer de la gestion sur bandes à celle sur disques et leur mise en œuvre est extrêmement simple.

### 2) Fonctions cartographiques

La première de ces fonctions réside dans la gestion d'une structure adaptée à tout type d'information localisée, structure dite "à trois niveaux" (objet, arc, point), la carte étant considérée conceptuellement comme un graphe composée d'objets, eux-mêmes délimités par des arcs constitués par des séquences de points. Cette structure peut parfois être dégénérée (cas des objets ponctuels), sa gestion étant du même coup optimisée par le système.

La deuxième fonction cartographique de GITAN concerne la sélection des éléments appartenant à une zone donnée : cette sélection est optimisée au maximum, car il s'agit évidemment du mode d'accès fondamental aux informations dont l'originalité est d'être localisées. La définition de la zone d'extraction peut se faire de multiples façons :

- ou bien l'utilisateur fournit les coordonnées des sommets du périmètre de la zone (et indique dans quel système de coordonnées celles-ci sont fournies)

- ou bien il fournit simplement le nom, ou le numéro de référence, d'une unité géographique ou administrative ou statistique définissant la zone à traiter. Tels peuvent être indiqués de cette façon le territoire d'un département (défini par le Répertoire des Limites Départementales R.L.D.) ou d'une commune (R.L.C.), ou la surface couverte par une feuille de la carte de base à 1/25 000 (Répertoire des Coins de Feuille) ou celle d'un îlot urbain (Répertoire Géographique Urbain - R.G.U.).

Suivant le type de données et les échelles auxquelles elles sont utilisables, tel ou tel "zonage" peut être privilégié : c'est au gestionnaire de la banque de définir les accès possibles et de les étendre à tout moment à l'aide de simples utilitaires et des grands répertoires nationaux déjà disponibles ou en cours de constitution.

Le calcul de l'appartenance des éléments cartographiques à la zone définie par l'utilisateur n'est exécuté qu'au moment de l'extraction, ce qui allège considérablement les accès par rapport à la méthode classique qui consiste à expliciter au départ les relations d'appartenance qui prennent de la place et requièrent du temps de calcul a priori.

Une autre fonction cartographique de GITAN réside dans les changements d'échelle et de système de représentation (projection). Ceux-ci se font automatiquement de façon à harmoniser les fichiers entre eux et avec la question à traiter (le stockage des informations peut en effet être inhomogène, suivant les échelles de saisie en particulier).

Enfin des traitements cartographiques variés peuvent être effectués :

- symbolisation : suivant la maîtrise de la technique cartographique qu'a l'utilisateur, il peut aller jusqu'à décrire dans ses moindres détails la légende de la carte qu'il veut faire tracer, ou se contenter de faire appel à une légende déjà cataloguée :

- calcul de modèles numériques de terrains, de cartes dérivées telles que cartes de pente, etc...

On a vu que les modèles numériques de terrain ("Digital terrain models") se trouvent en effet être au carrefour de nombreuses utilisations et représentent une communauté d'intérêt pour des usagers très différents, géographes, géologues, aménageurs, urbanistes... sans oublier les cartographes utilisant l'imagerie aérienne et spatiale issue des satellites.

Cette liste de traitements n'est pas exhaustive, car il est facile d'intégrer de nouveaux modules :

- listage de fichiers ou copie sur d'autres périphériques (en cours de programmation) ;

- tracé de cartes synthétiques par superposition, intersection ou combinaison logique de zonages tel que cela est déjà programmé dans une chaîne de traitement des données de l'environnement déjà par ailleurs...

La description de nouveaux fichiers (par exemple issus de nouveaux types de numérisations entreprises depuis la génération de la base) se fait sans problème au niveau du gestionnaire. Celui-ci donne des noms aux différentes rubriques du fichier concerné, aussi clairs que possible mais en évitant les homonymes. Ces noms permettront ensuite d'interroger les nouvelles données, au moyen du langage-utilisateur déjà mentionné.

## Perspectives

On voit ainsi que ce système peut intégrer, traiter et croiser pratiquement tous les types de données localisées. La formation d'une banque nationale de données géographiques et lamise à disposition de celles-ci auprès de la communauté des utilisateurs représentent un développement considérable, dont l'impact commence seulement à être entrevu. Cette évolution converge en outre de façon significative avec la systématisation du recueil, par les satellites, d'informations sur la surface terrestre et ses ressources naturelles : le traitement des images Landsat commence déjà à fournir massivement des données sur l'occupation et l'évolution du sol français à partir desquelles un groupe \* de partenaires de l'IGN (INSEE, Environnement, Agriculture, etc...) a envisagé la possibilité de constituer un système général d'information "à l'hectare" sur l'usage du sol. Le projet SPOT surtout, avec ses améliorations attendues de performances (résolution à 10 m - 20 m, stéréoscopie, accessibilité de 3 jours) devrait permettre d'alimenter un tel système et de l'affiner considérablement.

Devant une telle accumulation de progrès techniques et d'informations nouvelles, on peut se hasarder à imaginer le devenir de la géographie et de la cartographie. Demain, le géographe, mais aussi l'aménageur, l'urbaniste, le conseiller municipal ou l'étudiant, pourront faire apparaître sur un terminal graphique les données qui leur permettront de situer et de traiter leurs problèmes. Demain ils pourront étudier en mode conversationnel les corrélations entre les statistiques de population, l'occupation du sol, les demandes de permis de construire ou les structures foncières. Ils pourront même étudier rétrospectivement l'évolution de l'espace et visualiser sur leur écran l'usage du sol tel qu'il était dix ans ou cinq ans auparavant : l'extrapolation raisonnée vers l'avenir s'appuiera sur des bases de plus en plus sûres, l'accès aux différents réseaux d'information étant de plus en plus ouvert, et l'archivage des données de mieux en mieux assuré.

Ainsi, outil de visualisation et de diffusion de l'information géographique, la carte sur papier ou sur écran servira aussi davantage d'aide à la gestion de notre environnement, qu'il soit urbain, rural ou touristique, et aussi d'aide à la prévention et à la prévision. Mais pour éclairer qu'il soit, le problème de la **décision** n'en sera pas réglé pour autant.

# Statistique et Cartographie Thématique

*Bruno PASQUIER - Ingénieur en Chef IGN  
Chef du département de cartographie thématique*

Le monde moderne connaît un développement sans précédent de l'information sous tous ses aspects. Cette information est collectée, traitée, transmise sous des formes de plus en plus variées.

La présentation visuelle de l'information n'a plus à faire les preuves de son efficacité. Graphiques, schémas et organigrammes envahissent les publications les plus diverses permettant au lecteur d'appréhender un fait, une idée ou un ensemble de données d'un seul regard.

Dans bien des cas, quand il s'agit de présenter des informations localisées, la solution appropriée est d'avoir recours à une carte. Cette carte dont l'objet est de traiter d'un phénomène particulier est une carte thématique qui doit s'établir en utilisant un langage visuel clair et pertinent.

La cartographie, art de tradition ancienne, s'est toujours attachée à rechercher une (très) haute qualité nécessaire dans la plupart des cas, (notamment du fait de l'impression en couleurs), ce qui pouvait conduire dans le cadre des techniques classiques, à des coûts et des délais déroutants pour le non-spécialiste. Cet aspect des choses amenait (et amène encore bien souvent) à renoncer à la réalisation du nombre de cartes pourtant souhaitables à bien des égards.

Fort heureusement, la révolution technologique apportée par les ordinateurs a été mise à profit par les cartographes et les contraintes matérielles qui pesaient sur cette discipline ont été très largement diminuées.

Qui plus est, la manipulation informatique de données cartographiques apporte des possibilités tout à fait nouvelles que l'on commence à peine à explorer. Il ne fait aucun doute que cette cartographie nouvelle suivra le développement spectaculaire de l'informatique et de la télématique.

## La cartographie au service de la statistique

Le statisticien professionnel est par définition capable d'analyser et d'exploiter de

grandes quantités de données chiffrées, sans utiliser de représentations cartographiques. A l'aise dans l'univers des chiffres et grâce à l'analyse numérique, il n'a pas nécessairement besoin d'une visualisation concrète. Souvent celle-ci ne lui confirme que des phénomènes dont il avait déjà pris connaissance en travaillant sur les données brutes. La carte produite après que l'on a procédé à un regroupement de l'ensemble des données sur un nombre limité de classes et en employant des couleurs pouvant y apporter un caractère subjectif peut apparaître au spécialiste comme une vision dégradée de la réalité.

A l'inverse, l'apport de la cartographie est perçu de façon très positive et parfois même enthousiaste de la part des utilisateurs de données statistiques qui dans leur quasi-totalité n'ont jamais bénéficié de formation spécialisée dans ce domaine. Nombre d'entre eux y voient un énorme progrès par rapport aux tableaux de chiffres habituellement publiés et envers lesquels ils avaient souvent éprouvé sinon une aversion du moins une appréhension certaine sans toujours l'avouer. Une carte bien conçue concrétise et démystifie la donnée statistique. C'est un moyen privilégié de la rendre accessible au plus grand nombre et en particulier à ceux qui préparent ou prennent les décisions qui relèvent de l'aménagement du territoire.

Pour le cartographe traditionnel, la cartographie des données statistiques se présente comme un "pensum" extrêmement sévère. Les recensements datant de plus de 10 ans n'ont fait l'objet que de travaux cartographiques très modestes et l'on ne doit pas s'en étonner quand on sait que l'emploi des techniques classiques se traduit par des centaines voire des milliers d'heures de rédaction par la technique des couches pelliculables par exemple, accomplies tout en compulsant les tableaux de chiffres. De strictes procédures de contrôle étaient nécessaires pour vérifier cette rédaction. Quelques travaux de ce type ont été conduits dans les décennies passées ; l'exploitation cartographique des recensements concernés était à peine effleurée tant la somme de travail qu'aurait nécessité un traitement complet semblait hors de mesure et hors de portée. En tout état de

cause, les cartes n'auraient été disponibles que plusieurs années après la fin du dépouillement.

Pour nous en tenir au plan national, on connaît l'exemple de l'atlas de la DATAR réalisé en plusieurs années autour de 1966. Son chapitre "démographie" ne comprend que 4 cartes de densité de population au niveau de la commune. A l'époque, il avait été salué dans le monde de la cartographie française comme un véritable monument malheureusement resté inachevé.

De nos jours, le cartographe informaticien qui est chargé d'un tel travail se trouve en revanche dans une situation qu'il peut considérer comme idéale à bien des égards.

Il n'a besoin pour réaliser la série de cartes que d'un seul répertoire géographique (fichier numérique de la géométrie des zones traitées) : celui des limites administratives du pays (ou celui des unités de recensements).

L'ensemble des données thématiques est disponible : il se confond avec les résultats statistiques du recensement. Le choix d'un ensemble de seuils permet de passer des données aux classes thématiques.

Il est important qu'un travail de cartographie statistique débouche sur une impression. En effet, ces cartes constituent des éléments de base de géographie économique et humaine. Une large diffusion en est recommandée de sorte qu'aucune décision erronée ne puisse être prise par méconnaissance de ces informations. Aussi est-il préférable d'en imprimer trop plutôt qu'insuffisamment et d'en profiter pour les distribuer non seulement aux agences gouvernementales mais encore aux centres de recherche, aux milieux d'affaires et aux établissements d'enseignement.

Si l'automatisation rend possible la réalisation de ces cartes du point de vue des coûts, elle a également le grand avantage de le faire dans des délais très réduits. Si l'on fait le bilan des temps passés pour les expériences que nous avons conduites, on se rend compte que les délais techniques proprement dits sont très inférieurs aux inévitables délais des interventions purement humaines : choix des cartes (thèmes), pour chaque carte détermination des seuils, du titre et des couleurs employées, rédaction des commentaires et des "clés".

C'est quelques mois après la fin du dépouillement que les cartes peuvent être diffusées aux différents utilisateurs qui en bénéficient rapidement. Pour que le délai total soit le plus réduit possible, il faudrait considérer que cette "cartographie post-censitaire" fait partie intégrante de l'opération du recensement. Un certain nombre de tâches relatives à cette cartographie pourraient alors être anticipées. D'une manière générale, ce n'est pas encore le cas mais il n'y a aucune raison de douter que cette conception ne finisse pas par s'imposer.

## L'informatique au service de la cartographie

Il n'existe pas à l'heure actuelle de système "clé en main" en matière de cartographie thématique automatique. L'organisme qui veut se doter de moyens dans ce domaine doit investir lui-même en études d'ingénierie. Il lui faut prospecter le marché des fabricants d'équipements, acquérir les matériels les mieux adaptés aux méthodes envisagées, développer les méthodes et les logiciels pour intégrer l'ensemble dans un système opérationnel.

L'Institut Géographique National qui avait déjà accumulé une grande expérience en cartographie thématique comme en informatique (matériels et logiciels) était bien placé pour s'engager dans cette voie. Il l'a fait dès 1976.

Après avoir mis en œuvre une chaîne expérimentale fonctionnant sur des équipements d'emprunts, le département de cartographie thématique a été doté en 1979 d'un équipement opérationnel complet appelé "système SEMIO". Répondant à des spécifications techniques de haut niveau (format, résolution, vitesse de travail, etc...) et s'appuyant pour les phases de calculs importants sur l'ordinateur central de l'IGN, ce système est basé sur des mini-ordinateurs de 64 K octets de mémoire centrale, équipés de disques de grandes capacités (120 M octets), d'unités de bandes magnétiques. Ces ordinateurs sont reliés à des périphériques spécialisés dans le traitement graphique qui sont :

- L'appareil de saisie qui est un scanner à tambour analysant les documents par réflexion suivant trois canaux (rouge, bleu et vert). Cette analyse multispectrale autorise la reconnaissance sur un document d'une dizaine de couleurs distinctes préalablement calibrées. Le pas d'analyse ainsi que la taille du point d'analyse sont variables.

- La console interactive équipée d'un écran cathodique de visualisation en couleur, d'une tablette avec crayon magnétique ainsi que d'un clavier de commande de fonctions. Pilotée par un mini-ordinateur elle permet le contrôle et la correction de toute image numérique stockée sur disque.

- Le système de restitution équipé d'un tambour permet l'insolation de films pouvant aller jusqu'au format de 100 x 180 cm. La source lumineuse est un laser argon et le pas d'insolation ainsi que la taille du point élémentaire sont ajustables et peuvent atteindre une valeur minimale de 15 microns. La vitesse de rotation du tambour est de 1 000 tours par minute.

Par souci d'efficacité, un petit laboratoire de photogravure a été installé sur le même site. Équipé d'une machine à développer, d'un châssis de copie et d'un système d'épreuve d'essai couleur, il permet au département d'assurer tous les travaux jusqu'aux planches mères pour l'impression.

Le développement de nouvelles méthodes basées sur cet équipement a permis de démarrer une production réelle répondant à des demandes internes à l'IGN ou à des commandes extérieures. Cette production effective constitue le meilleur test d'efficacité d'une méthode et un bon point d'appui pour les développements de programmes.

## L'automatisation de la cartographie des sciences de la Terre

En plus des travaux de cartographie post-censitaire, le système SEMIO sert de base à une chaîne de production de cartes thématiques diverses. Elle concerne particulièrement la cartographie des thèmes physiques.

Il s'agit des cartes faisant l'inventaire d'un phénomène physique (occupation ou usage du sol, pédologie, géologie, etc...), levé sur le terrain ou par photo-interprétation : dans les deux cas, l'on a à traiter une minute d'auteur, tracée et éventuellement colorisée à la main. Cette cartographie plus complexe que la précédente mais dont les unités élémentaires sont des éléments de surface convient très bien à la technique employée. Bien entendu, elle nécessite une numérisation particulière à chaque carte. La qualité des résultats rivalise avec les meilleures réalisations traditionnelles. Les coûts et surtout les délais sont également à l'avantage de la filière automatisée, dans un rapport évidemment moindre que pour les cartes statistiques.

Parmi les autres avantages citons :

- La possibilité d'obtenir pour un coût minime des statistiques sur les surfaces occupées par thème, soit globalement, soit par unité administrative.

- L'excellente conservation sous forme numérique des informations cartographiques.

- La production facile et peu onéreuse de toute carte dérivée par changement d'échelle ou par regroupement de thèmes pour des exploitations particulières.

- Le croisement facile de deux thèmes différents qui peut être utilisé notamment pour la réalisation de cartes d'évolution.

Dans ce domaine, une des applications les plus marquantes est celle de l'Inventaire du Littoral. Ce programme cartographique est réalisé suivant une commande d'un organisme interministériel.

Il comprend principalement une cartographie au 1/25 000 décrivant l'usage du sol.

Ces cartes au 1/25 000 sont des coupures spéciales au nombre de 145 pour couvrir l'ensemble du littoral français. Elles sont établies par photo-interprétation, vérifiées sur le terrain pour la partie terrestre et à partir de minutes fournies par les services administratifs locaux pour la partie maritime. La légende comprend une quarantaine de caissons. Les éléments thématiques sont traités par cartographie automatique qui aboutit à la production des 4 films de la quadrichromie correspondante. Les films du noir et du bleu sont combinés respectivement à la planimétrie et à l'hydrographie du fond topographique.

Les numérisations au scanner nécessaires à la réalisation de ces cartes sont complétées par les numérisations des découpages administratifs communaux correspondants. Ce qui permet, par programme, d'établir pour chacune des communes de la zone d'étude les statistiques en surface de tous les thèmes d'usage du sol.

Commencé en 1980, cet inventaire s'est concrétisé par des sorties de cartes imprimées à 1 000 exemplaires chacune dès le mois de juin au rythme de deux cartes par semaine. A la demande de l'organisme client, il est envisagé d'accélérer la cadence de production pour la porter rapidement à environ 15 feuilles par mois.

Un autre exemple d'application intéressante est donnée par la cartographie pédologique. Un tel programme est en cours à la demande de la Chambre d'Agriculture de la Région Centre avec la collaboration de l'Institut National de la Recherche Agronomique. Il concerne des cartes au 1/50 000.

Le contenu thématique de ces cartes est très abondant. En fait, plusieurs thèmes relatifs à la nature du sol sont traités sur une même carte (type de sol, texture, nature et profondeur d'apparition du substrat, hydromorphie, charge caillouteuse). La traduction graphique de ces informations est naturellement très complexe. Elle constitue un exercice redoutable de cartographie traditionnelle. Les méthodes informatiques donnent là la mesure de leur puissance.

Après avoir numérisé les contours des différentes parcelles à l'aide du scanner, on

procède à la codification de toutes les variables thématiques. L'ensemble de ces informations constitue une véritable banque de données pédologiques. La réalisation de la carte, quelle qu'en soit la complexité graphique, ne pose aucun problème.

Comparée aux méthodes classiques, l'expérience réalisée a mis en évidence les avantages suivants :

- coût global de la rédaction réduit d'environ 50 %
- délais de réalisation n'excédant pas 3 mois
- production de cartes dérivées à coût extrêmement réduit.

De plus, rien n'interdit d'ajouter à cette "banque de données" des informations complémentaires comme les prix des terrains, les valeurs de pentes, etc... pour réaliser une cartographie des potentialités agricoles. Il va de soi qu'une carte unique serait incapable de traduire graphiquement l'ensemble de ces thèmes, mais on peut très bien envisager de répondre à des questions particulières par des cartes spécifiques produites automatiquement. Par exemple, après que les spécialistes auront défini le critère approprié, il sera aisé de réaliser une carte de l'aptitude à la culture de maïs ou à toute autre mise en valeur.

La "carte" devient alors un système d'information particulièrement souple et capable d'interactivité. Elle a également gagné par rapport à sa définition classique d'être devenue un outil quantitatif comme on l'a vu. On peut le concevoir comme une aide très puissante à la planification.

## Conclusion

Les développements technologiques actuellement en cours vont continuer à étendre le champ d'action de l'informatique dans la cartographie thématique, sans qu'il soit possible d'en cerner les limites. On peut penser que subsistera longtemps encore un secteur de cartographie traditionnelle et qu'il y a place également pour une cartographie d'étude s'appuyant sur des moyens informatiques légers (imprimantes, traceurs rapides, copies d'écran, etc...). Il est néanmoins bien clair que l'on ne saurait désormais envisager de lancer une opération de quelque envergure sans faire pleinement appel aux moyens les plus modernes qui non seulement améliorent très sensiblement les coûts et les délais de réalisation mais encore donnent accès à une quantité d'utilisation diversifiées et permettent d'informatiser l'ensemble des données ainsi acquises au sein d'un système intégré d'informations géographiques.

# Documents graphiques, dérivés des cartes topographiques, mis à la disposition des usagers techniques et du grand public

*par René CUENIN - Ingénieur en Chef Géographe IGN  
Chef du Service Impression et Diffusion des cartes*

Les produits IGN dont l'utilisation est la plus répandue sont certainement les cartes sur papier imprimées en plusieurs couleurs.

Durant la dernière décennie, la nature de ces produits a évolué non pas tant en ce qui concerne leur contenu et leur précision, mais essentiellement par leur présentation, leur format, leur découpage. Simultanément apparaissaient des cartes à vocation spécialisée destinées à des catégories particulières d'utilisateurs alors que les usagers techniques peuvent disposer, sur commande, d'éléments reproductibles monochromes.

Compte tenu des transformations en cours qui font coexister sur le territoire national des produits de type ancien et de type nouveau, il n'est pas inutile de préciser la nature de ces différents produits.

A l'échelle du 1/25 000, carte de base qui couvre entièrement la France depuis 1980, les feuilles "anciennes" de format utile (image cartographiée) de 40 x 56 cm environ, couvrant une zone de 0,10 grade en latitude et de 0,20 grade en longitude sont disponibles exclusivement à plat ; les lecteurs habitués et initiés savent que chaque feuille est référencée par le nom de la carte au 1/50 000, dont elle constitue un quart, et par un groupe de deux chiffres 1-2, 3-4, 5-6 ou 7-8.

Au fur et à mesure que sont établies les nouvelles productions ces cartes disparaîtront. Elles sont remplacées par des feuilles dont la plupart ont un format double du précédent soit 80 x 56 cm (image cartographiée) soit une zone de 0,20 x 0,20 grade couvrant la moitié d'une feuille au 1/50 000. Pour éviter, le long du littoral et des frontières, des feuilles comportant une grande part de mer ou de territoire étranger, et également pour aménager un découpage rigide mal adapté à certaines grandes agglomérations, il a été décidé de créer, dans ces différents cas, des feuilles

de plus grand format qui ne constituent pas cependant des feuilles spéciales doublant les feuilles standard mais qui s'intègrent dans l'ensemble des coupures (cf extrait du tableau d'assemblage).

Chaque feuille est désignée par le code de la carte au 1/50 000 dont elle constitue une partie et par la lettre O ou E (Ouest ou Est). Elle porte également le nom de la localité, ou des localités ou des détails orographiques les plus significatifs : ainsi la feuille 3335 Est (partie EW de la feuille au 1/50 000 de Vizille) se nomme "le Bourg d'Oisans - l'Alpe d'Huez" ; la feuille 3235 Ouest (partie Ouest de la feuille au 1 : 50 000 de Vif) se nomme "Villard-de-Lans - Gorges de la Bourne".

Ces cartes caractérisées sur la couverture par un pavé bleu surchargé du code d'identification sont disponibles soit à plat, soit pliées dans le format 11 x 23 cm.

Elles sont imprimées en 4 couleurs : noir, bleu, orange et vert, le relief étant normalement figuré par les points cotés et les courbes orangées mais comportant un estompage en noir tramé dans certaines régions montagneuses limitées aux Alpes, aux Pyrénées et à quelques zones du Massif Central.

Les séries touristiques dérivées sont limitées à des secteurs privilégiés et ont pour caractéristiques communes le format de 81 x 121 cm à plat, surcharges colorées à thème touristique. Ce sont, d'une part les cartes des forêts, coéditées par l'IGN et l'ONF qui sont à la fois destinées aux "touristes", promeneurs, cyclistes ou cavaliers, et aux techniciens forestiers puisqu'elles mettent en évidence les limites de séries et de parcelles, d'autre part les cartes des massifs montagneux.

Ces dernières sont destinées à disparaître progressivement au fur et à mesure de la parution des cartes au 1/25 000 de nouvelle facture ; en effet, il est envisagé, dans les

zones où les feuilles comporteront un estompage, de leur adjoindre également quelques surcharges touristiques (sentiers balisés, refuges, itinéraires skieurs...) ainsi que des indications contribuant à la sécurité des usagers (postes de secours, postes téléphoniques isolés...). Des surcharges conçues dans le même esprit sont également prévues sur les feuilles du littoral à forte fréquentation touristique, la publication de ces feuilles entraînant le retrait des cartes de la série des îles métropolitaines dont l'échelle actuelle est variable (1/20 000, 1/40 000, et 1/50 000).

Ainsi, dans quelques années, on peut espérer que la France sera couverte par un peu plus de 2 000 feuilles d'une série unique (dite série bleue) remplaçant les diverses variantes actuelles, à l'exception des cartes de forêts.

Les usagers techniques qui souhaitent réaliser, par leurs propres moyens et pour leurs besoins internes (sans commercialisation), des tirages du fond de carte peuvent disposer, sur commande, d'éléments reproductibles sur film photographique ou sur contre-calque polyester. Ces documents monochromes sont établis par combinaison des planches de la planimétrie-toponymie, de l'orographie et de l'hydrographie et ne comportent ni les surcharges routières de la carte au 1/25 000 ni les trames de forêts, ni l'estompage, ni les surcharges touristiques. Ils sont disponibles soit à l'échelle du 1/25 000, soit au 1/10 000 par agrandissement des précédents. Leur délivrance est assortie d'une clause d'utilisation exclusivement privée ou interne au service acquéreur, sans diffusion à titre gratuit, commercial ou publicitaire.

Il va de soi que la reproduction des cartes de l'IGN par tout autre moyen est interdite conformément aux dispositions légales.

A l'échelle du 1/50 000, le découpage et le format traditionnels n'ont pas été modifiés : format utile de 40 x 56 cm environ, soit une zone de 0,40 grade en longitude et

de 0,20 grade en latitude. Cependant toutes les feuilles sont disponibles soit à plat, soit pliées, les feuilles nouvelles comportant une couverture incorporée indentifiable par un pavé orangé surchargé du code d'identification, les feuilles anciennes, en voie de disparition, étant présentées sous pochette avec une pseudo-couverture insérée dans la pochette.

Les cartes dérivées telles que celles des îles seront, on l'a vu précédemment, remplacées par la carte au 1/25 000 et sur les quelques cartes de parcs naturels régionaux seront maintenues au 1/50 000.

Les éléments reproductibles monochromes à cette échelle sont disponibles dans les mêmes conditions que pour les cartes au 1/25 000.

Aux échelles du 1/100 000 et du 1/250 000, les Séries "Verte" en 74 feuilles et "Rouge" en 16 feuilles remplacent depuis plusieurs années les séries anciennes de petit format respectivement en 293 feuilles et 45 feuilles. Ces séries anciennes ne sont plus éditées mais leurs éléments reproductibles monochromes restent disponibles ; ils sont mis à jour en fonction des besoins d'usagers techniques particuliers comme le B.R.G.M. qui utilise ce fond pour sa nouvelle carte géologique de la France au 1/250 000.

Les feuilles des nouvelles séries sont imprimées en 6 couleurs dans le format 81 x 121 cm et sont essentiellement commercialisées sous forme pliée ; cependant des exemplaires à plat peuvent être obtenus au magasin de vente de l'IGN.

La série au 1/100.000 reste essentiellement topographique, les lieux ou détails touristiques étant simplement mis en exergue par des écritures un peu plus apparentes. Par contre la série au 1/250 000 (série rouge) a une vocation culturelle puisqu'elle met en évidence par des symboles et des écritures les éléments du patrimoine culturel et touristique recensés avec le concours du Ministère des Affaires Culturelles.

# location D'ENGIN DE NETTOIEMENT



## LOCATIONS

Nous disposons d'un parc de matériels répondant à vos besoins et destinés à la location, avec mise à disposition de personnel de conduite.

- Sur simple appel téléphonique pour les chantiers.
- Etude de tous contrats longue durée



**MATERIEL 100 % FRANÇAIS**

## FABRICATIONS

- Balayeuses-ramasseuses
- Arroseuses-balayeuses-laveuses
- Arroseuses-laveuses
- Laveuses haute pression
- Balayeuses-ramasseuses légères T.80 pour voies piétonnes, trottoirs, parkings, etc...
- Aspiro-chargeuses
- Brosseuses de voûtes de souterrains

CONSTRUCTION - LOCATION - REPARATION



**LE MATERIEL DE VOIRIE**

43, rue Michel-Carré  
95100 Argenteuil

Tél. : 961.83.55 - Telex 695 077

# Opération de photogrammétrie terrestre - Étude d'un site de barrage (Misicuni - Bolivie)

par Philippe GIRAUDIN - Ingénieur Géographe - IGN



Le site de Misicuni est à 3800 mètres d'altitude. Le chantier lui-même, zone devant donner lieu à un levé photogrammétrique au 1/200, est un rectangle de 200 mètres sur 300 traversé suivant sa largeur par une gorge profonde d'environ 200 mètres, de largeur d'environ 20 mètres à sa base et dont le fond est occupé par un ruisseau. Les pentes vont de 100 % à la verticale, le terrain est rocheux à 80 %, herbeux sur le reste. Les accès sont limités à quelques sentiers, dont l'un tracé à l'explosif en corniche au-dessus de la rivière.

## Moyens utilisés, mode opératoire

Cette opération de photogrammétrie terrestre comprenait la prise de vue et la détermination des points de calage.

Les opérations photographiques ont utilisé la chambre T57-IGN (focale 200 mm) et P31 Wild (focale 100 mm), en s'efforçant

de respecter les conditions de prises de vues (base, éloignement) qui assurent une précision suffisante au levé de 1/200. La quasi-totalité des prises de vues a été réalisée à axes parallèles. Les clichés étaient développés chaque soir dans un laboratoire de fortune installé à Cochabamba (matériel de développement et de tirage IGN).

Les opérations topographiques ont utilisé le Wild T1 puis le Wild NT2, ainsi que le distance-mètre AGA 14 pour les mesures de distance, le lot de polygonaion de précision Wild à centrage forcé pour la figure de



base. Ce dernier matériel n'a pas toutefois eu son efficacité maximale (quantité insuffisante de cibles pour éviter tous les recentrages). Il est à noter que pieds et cibles étaient laissés en place d'un jour sur l'autre pour gagner du temps.

### Prises de vues

Sur la 1<sup>ère</sup> zone, 7 couples T57 et 33 couples P31 ont été rendus nécessaires par le caractère très compartimenté du terrain. La prise de vue se composait de :

- prises de vues T57 couvrant une large zone, effectuées depuis chaque bord de la zone, à axes dirigés vers le versant opposé. Ces prises de vues couvrent environ 80 % de la surface totale (base d'environ 40 mètres).

- prises de vues P31 effectuées également transversalement à la rivière, à mi-hauteur, profitant du sentier tracé à 3720 mètres à l'explosif.

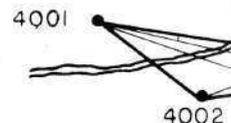
- prises de vues P31 effectuées dans le fond de la gorge, de part et d'autre, caractérisées par une zone couverte très faible du fait du manque de recul.

- quelques prises de vues P31 prises "en enfilade" de la rivière.

### Polygonation

Pour couvrir les deux chantiers, une polygonation de 24 stations a été nécessaire.

- 12 stations à mi-hauteur sur le versant Est et sur le versant Ouest.



— 12 stations au fond de la gorge.

Les problèmes d'intervisibilité et de pentes (supérieures à 50 grades transversalement à la rivière) ont été les principales contraintes d'établissement des stations et du schéma de triangulation - polygonation. On a dû se contenter de peu de visées transversales de recoupement entre les stations du fond de la rivière et les stations des versants et une vingtaine de distances ont été mesurées.

### Détermination des points de calage

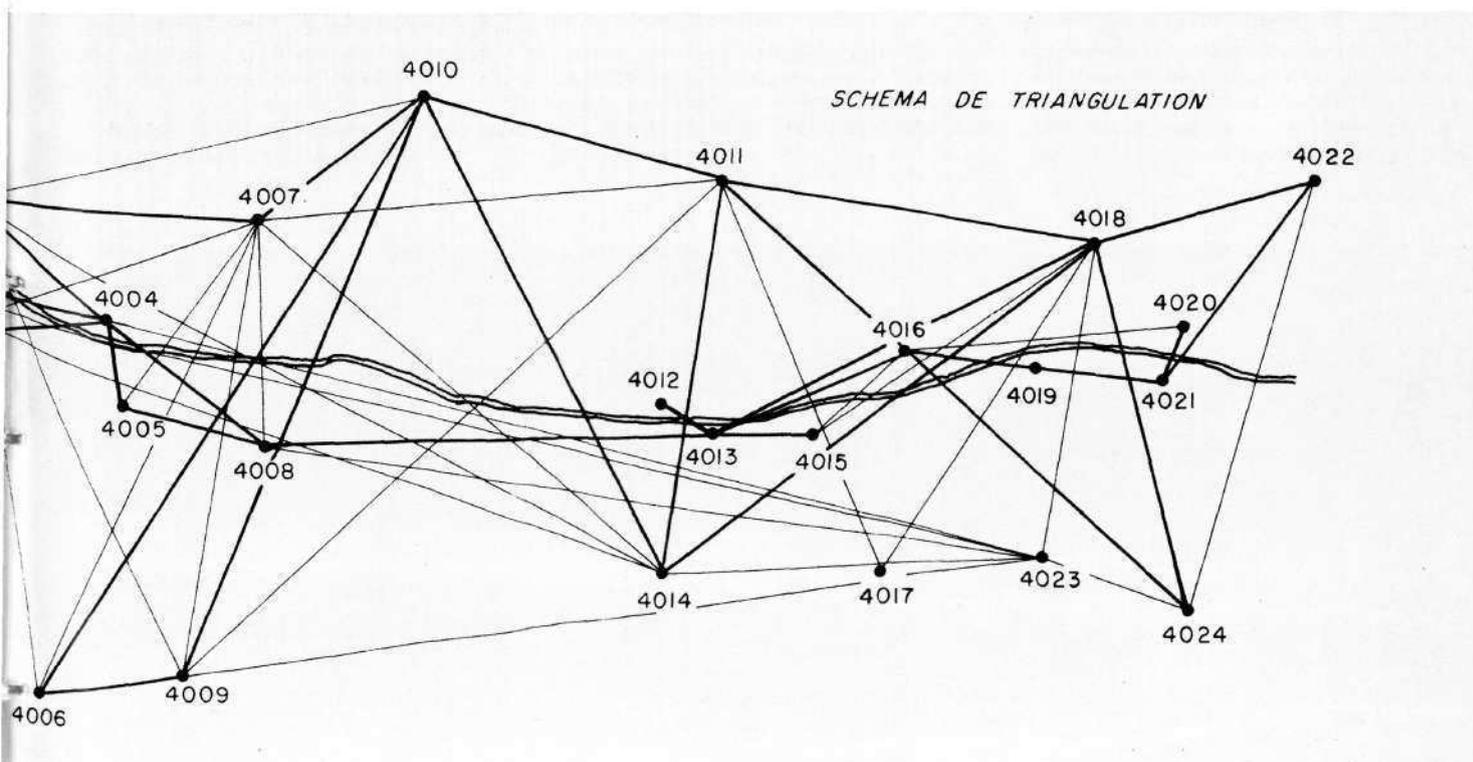
Les points de calage ont généralement été déterminés par intersection à partir des stations de polygonales, en particulier pour les points les plus élevés. Toutefois, au fond de la rivière une plus grande utilisation du rayonnement a été effectuée (par plus grande rapidité et surtout par manque de visibilité des points à partir de deux stations). Au total environ 200 points ont été déterminés.

### Calculs

On disposait pour les calculs d'un jeu de coordonnées planimétriques et du nivellement de précision de quelques stations, obtenus préalablement à l'arrivée de l'IGN.

Ces calculs planimétriques se sont effectués en bloc, par compensation des moindres carrés pour les stations, à partir d'un point 4010 (station IIIg), dont on a conservé les coordonnées et un azimut de référence. Le désaccord sur les autres points avec les coordonnées obtenues par les travaux topographiques boliviens, a été au maximum de 20 - 30 centimètres. Aucune réduction de distance au niveau zéro n'a été réalisée. La précision des résultats est de l'ordre de 15 à 20 mm.

Les calculs altimétriques se sont appuyés sur le nivellement de précision des points 4010 (IIIg) et 4019 (K23). La précision des résultats est de l'ordre de 5 à 8 mm.



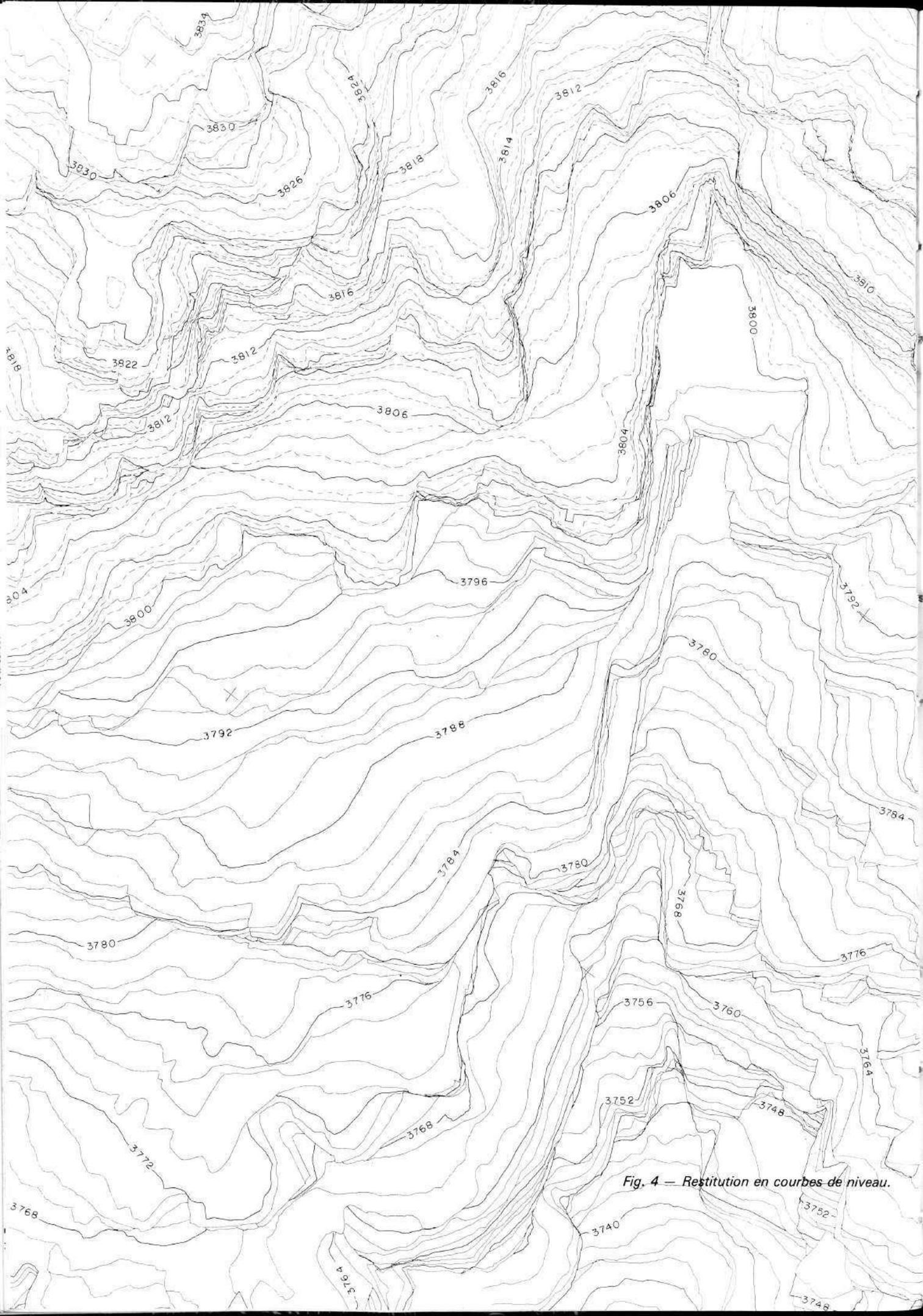


Fig. 4 — Restitution en courbes de niveau.

# Surveillance d'ouvrages d'art par photogrammétrie aérienne

par Patrice CORRE - Ingénieur géographe IGN

Pour la Direction Départementale de la Savoie, l'Institut Géographique National a conçu et mis au point une méthode photogrammétrique de surveillance donnant une précision comparable aux mesures topométriques ; c'est-à-dire de l'ordre du centimètre pour un chantier s'étendant sur plus de 3 km.

Le chantier pour lequel la méthode a été étudiée, est la route d'accès au tunnel routier du Fréjus à Modane qui posait de délicats problèmes de stabilité aux techniciens.

Dans son principe, la méthode repose sur la technique bien connue de l'aérotriangulation analytique mais sa mise en œuvre comporte par rapport au schéma classique de nombreuses innovations qui expliquent la qualité des résultats obtenus :

- très fort recouvrement des clichés,
- prébalisage dense,
- fondements mathématiques rigoureux du programme de calcul.

Dans ses grandes lignes, l'opération de surveillance se déroule en cinq principales phases :

- détermination par triangulation de précision de points d'appui,
- prébalisage des points d'appui, des points de liaison entre clichés successifs et des points de "contrôle" de stabilité,
- prise de vue héliportée,
- mesure des coordonnées-clichés des cibles avec un monocomparateur,

— calcul par un programme de compensation d'ensemble utilisant les équations d'observation exactes et l'ajustement par moindres carrés.

## La triangulation des points d'appui

Les impératifs de précision et d'homogénéité sur l'ensemble du chantier à surveiller, nécessitent à l'implantation d'une figure de base bien conformée comprenant les points d'appui nécessaires à l'aérotriangulation.

Chaque point de cette figure est matérialisé par un pilier scellé dans une assise de béton. Une platine métallique carrée est scellée sur la face supérieure de chaque pilier. Gravée de trois rainures rayonnantes disposées à 120 degrés, elle permet le centrage précis (0,5 millimètres) d'un théodolite ou d'une mire-cible.

Compte tenu de l'instabilité du terrain, les observations géodésiques sur la figure de base sont à refaire à chaque opération de surveillance à la période correspondant à la prise de vues.

## Le prébalisage

Le prébalisage concerne les trois types de points qui seront pointés sur les clichés au monocomparateur :

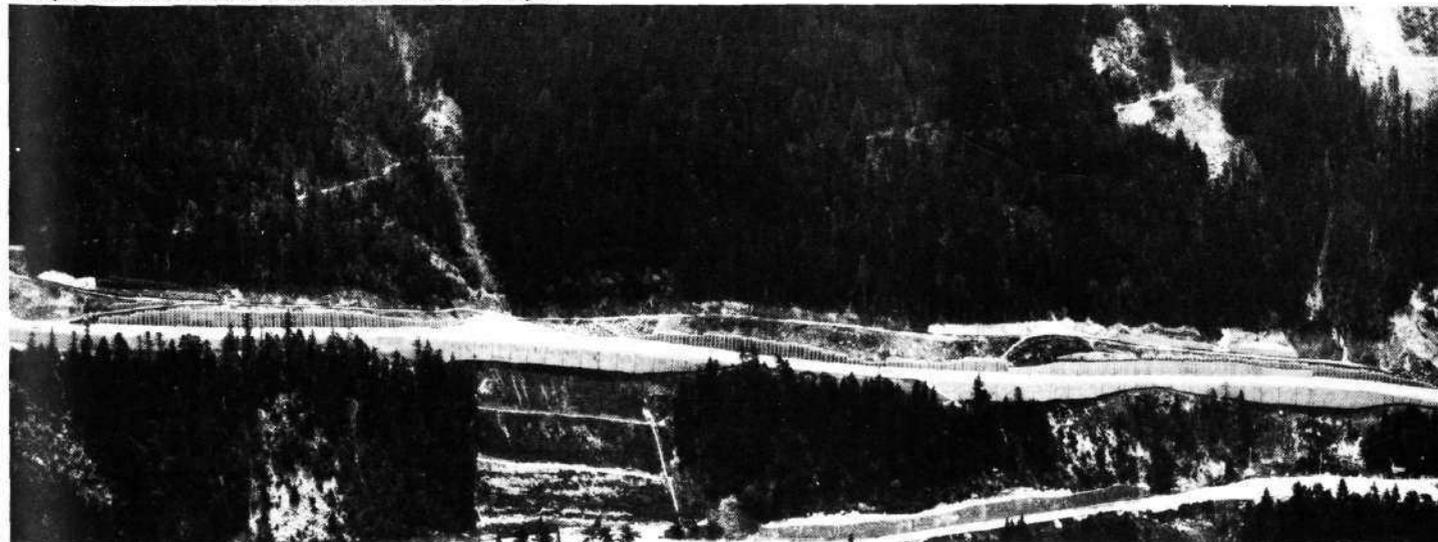
- les piliers susceptibles d'apparaître sur les clichés, dont les points d'appui,
- les points à surveiller proprement dit,
- les points de liaison entre clichés, dont le nombre, à calculer en fonction du recouvrement des clichés, conditionne la précision des résultats de l'aérotriangulation.

## La prise de vues

Dans un site montagneux comme celui de Modane, la difficulté majeure de prise de vues héliportée est le maintien de l'axe de vol en raison des perturbations rencontrées à l'altitude de vol imposée.

Le plan de vol se décompose en deux bandes faisant un angle de 50 grades entre elles et couvrant une partie commune. Les axes de vol suivent sensiblement l'axe moyen de la route d'accès au tunnel routier

Vue partielle de la route d'accès au tunnel de Fréjus.





L'hélicoptère IGN décollant sur la route d'accès au tunnel.

et le recouvrement moyen entre clichés est de l'ordre de 85 %, pour assurer une plus grande rigidité à chacune des bandes.

## Saisie des données

A partir de la couverture photographique, l'exploitation commence par une recherche et un piquage de tous les points prébalisés apparaissant sur les clichés. Ces points étant repérés sur les positifs papier, un opérateur observe les négatifs au monocomparateur PKI Zeiss. Les observations sont, en temps réel, corrigées à l'aide d'un mini-ordinateur Hewlett - Packard 9825 A de la distorsion de la chambre de prise de vues et des déformations du film par rapport aux repères de fond de chambre. Les coordonnées clichés ainsi corrigées sont perforées sur un ruban puis transférées sur support magnétique.

## Le Programme d'aérotriangulation analytique

Le calcul des coordonnées des points à surveiller utilise un programme d'aérotriangu-

lation analytique, qui effectue une compensation rigoureuse des observations faites au monocomparateur.

La méthode utilisée est la compensation par faisceaux, dans un repère cartésien local. Les coordonnées Lambert issues de la triangulation sont converties dans ce système local. Les coordonnées des points à surveiller obtenues par l'aérotriangulation, seront reconverties par la suite dans le système de projection Lambert.

## Conclusion

L'expérience ainsi menée, permet de conclure qu'il existe une alternative photogrammétrique à la classique méthode topométrique de surveillance des grands ouvrages.

Sur ce chantier de Modane, allongé sur 3 à 4 km, il est possible de déterminer rapidement et aussi souvent que souhaité, les déplacements absolus de plus d'une centaine de points avec une précision de l'ordre du centimètre, par une aérotriangulation analytique appuyée sur une topométrie réduite à 11 stations.

Si la méthode est plus lourde qu'une aérotriangulation classique conduite en vue d'un levé topographique, en raison du prébalisage dense et du fort recouvrement nécessaires, elle reste notablement moins coûteuse qu'une campagne topométrique, par rapport à laquelle elle apporte d'intéressants compléments : la couverture photographique permet la simultanéité de la saisie des informations nécessaires dans les zones de forte instabilité, et la constitution d'archives pouvant être, éventuellement, a posteriori, une mine de renseignements sur l'évolution du terrain exploitables par cartographie numérique ou par photo-interprétation.

Cette méthode peut concerner toutes les études de stabilité de grande importance : ponts, routes, barrages. Elle trouve actuellement un nouveau champ d'application en volcanologie, avec l'étude des mouvements du sol du piton de la Fournaise sur l'île de La Réunion menée par l'Institut de Physique du Globe en collaboration avec l'IGN.

On ne peut que lui souhaiter de contribuer largement dans l'avenir à la surveillance et la prévention.

# L'IGN et ses interventions à l'étranger

par Henri HOVASSE - Ingénieur en Chef Géographe IGN  
Directeur des Relations Extérieures pour l'étranger

Les quarante dernières années, prenant le relais des services géographiques coloniaux, l'Institut Géographique National a accompli une œuvre considérable dans tous les pays sous obédience française grâce en particulier avant leur indépendance, aux crédits du fonds d'investissement de développement économique et social (F.I.D.E.S.).

Au moment où la France a quitté ces territoires, la majeure partie de l'équipement géographique de base de ces pays était réalisée (1). Dans le cadre de la politique de Coopération avec les États Africains, cette œuvre a été poursuivie par l'I.G.N. ces dernières années mais sous une forme beaucoup plus limitée (crédits du Fonds d'Aide et de Coopération). Simultanément l'IGN aidait à la création et au démarrage de services géographiques nationaux en formant leurs cadres avec les fonctionnaires français dans son École des Sciences Géographiques de Saint-Mandé.

Des pays africains voisins puis de proche en proche d'autres pays étrangers ont fait appel aux compétences de l'IGN pour établir chez eux et avec eux les éléments géographiques (photographies aériennes, réseau de points d'appui, cartes) dont ils avaient besoin. Depuis la transformation de l'IGN en Établissement public à caractère administratif et plus particulièrement depuis la crise de l'énergie, l'IGN, à la demande du Gouvernement, s'est orienté systématiquement vers la prospection et la recherche de marchés à l'étranger. Ce qui n'était au départ que la poursuite d'une tradition et une activité nécessaire est devenu une part fondamentale de son action. En terme de budget son activité à l'étranger représente 65 MF en 1981 soit 17 % de son chiffre d'affaires ou 44 % de ses ressources propres (2) (dont les deux autres rubriques principales sont : la vente des cartes et photographies, les travaux facturés en France).

## 1 - Quels sont les principaux marchés que traite l'IGN ?

Ils sont de trois types, les deux premiers étant les plus fréquents.

### 1.1 - Établissement systématique de la cartographie topographique sur toute l'étendue d'un pays

Cela se fait avec un rythme plus ou moins rapide (3) suivant les ressources du pays en réalisant successivement toutes les phases : couverture photographique, géodésie, nivellement, restitution photogrammétrique, cartographie, édition. La carte générale est souvent au 1/200 000 : en complément les zones en voie d'urbanisation sont traitées au 1/10 000, au 1/5 000 ou au 1/2 000 pour pouvoir les gérer, les suivre du point de vue foncier et du point de vue équipements (on envisage souvent de constituer des banques de données).

Un bon exemple est donné par la cartographie du désert du Rub Al Khali (430 000 km<sup>2</sup>) qu'établit l'IGN en 4 ans pour l'Arabie Saoudite.

Il arrive aussi que par appel d'offre les phases de travaux soient confiées à des entrepreneurs différents : l'IGN a eu à réaliser des orthophotographies avec une couverture photographique prise par X et des points au sol faits par Y, ce qui n'a du reste pas été aisé.

### 1.2 - Établissement au coup par coup dans un but déterminé de levés expédiés ou précis

Le pays veut procéder ou faire procéder à des prospections, des recherches ou à de l'aménagement au sens général (barrages, irrigations, chemins de fer, grands équipements, réforme agraire...) sur de vastes zones. L'IGN se retrouve alors sous-traitant ou cotraitant du B.R.G.M. ou de la C.G.G. dans le premier cas, de D.A.F.E.C.O. (E.D.F.) ou de S.O.G.R.E.A.H., de S.O.F.R.E.T.U. (R.A.T.P.), du B.C.E.O.M. de S.C.E.T. Inter ou du B.D.P.A. pour ne citer que les principales compagnies françaises avec lesquelles l'IGN coopère à l'étranger.

Ces levés peuvent aller de la simple détermination de g pour des études géophysi-

ques à des plans de villes très précis pour études d'urbanisme (par exemple Dakar, Nouakchott...).

### 1.3 - Recueil de données et établissement de cartes thématiques

Comme l'a expliqué P. FOIN dans son article, la photographie aérienne et les autres capteurs aéroportés sur une zone limitée, les satellites sur un pays entier permettent d'acquérir à un instant toute une série de données (éventuellement de les recueillir à période régulière) donc de mesurer leur évolution. Ces données traitées par voie manuelle ou par voie automatique associées, à un fond de plan qui peut être numérisé et mis en mémoire, à des données exogènes (par exemple de recensement) permettent de publier très vite en cartographie automatique des documents thématiques (cf. article de B. PASQUIER) faisant la synthèse d'une étude, permettant de **comprendre et de décider**. On est très loin de l'atlas établi en 4 ou 5 ans sur des données de 10 ans d'âge.

Le satellite SPOT va permettre d'acquérir dès 1984 grâce à son pouvoir séparateur de 10 à 20 mètres les données utiles pour de nombreux pays sans infrastructure géographique valable.

(1) Ce fait mérite d'être souligné car on ne retrouve pas l'équivalent dans les anciennes possessions anglaises, italiennes ou portugaises.

(2) On désigne ainsi ce qui n'est pas fourni à l'Établissement par le budget de l'État.

(3) Il faut rappeler, je pense, que la cartographie détaillée et précise est une œuvre de longue haleine (70 ans pour réaliser la cartographie au 1/25 000 de la France).

## 2 - Comment se présentent ces marchés ?

• Les marchés uniquement de cartographie décrits en 1.1 ci-dessus sont commandés par les services géographiques locaux civils ou militaires suivant les pays. Ceux décrits en 1.2, en revanche, font partie de marchés plus généraux dont ils constituent la première phase et proviennent soit d'administrations locales soit d'organismes internationaux : ils demandent souvent pour répondre une association avec d'autres sociétés. Étant donné la sensibilité des États jeunes à ce qui touche la connaissance du sol, son aspect stratégique, le choix des contractants a une composante politique très importante : la position de la France considérée comme à l'écart des deux grands blocs est un atout très positif. Il en est de même pour la forme d'Établissement Public dont la vocation n'est pas de faire des bénéfices. Sa réputation internationale - noblesse oblige - l'amène en revanche à respecter à la lettre les spécifications des cahiers des charges (qui copiées ici ou là dans des ouvrages théoriques sont souvent inutilement sévères mais risquent d'être vérifiées par des "experts" mercenaires systématiquement pointilleux) : c'est un handicap sérieux au point de vue des prix. La concurrence est en effet très vive dans cette branche où l'on retrouve en face de nous les techniciens d'Europe de l'Est (Pologne et Hongrie essentiellement) de l'Asie (Japon et Corée) des sociétés allemandes, anglaises, finlandaises, hollandaises, italiennes ou suisses sans oublier des sociétés canadiennes ou américaines. La plupart sont peu ou prou subventionnées par leur gouvernement ou par des entreprises de T.P. qui espèrent ainsi travailler en aval.

• Le volume et la répartition de ces marchés varient assez fortement d'une année à l'autre. Donnons par exemple la ventilation par zone, des recettes à l'étranger en 1980 :

Afrique Noire et Afrique du Nord	27 %
Afrique du Nord Est dont Libye	41 %
Moyen Orient	4 %
Arabie Saoudite	27 %
Divers	1 %

Les travaux réalisés en **aide bilatérale** sur le Fonds d'Aide et de Coopération soit au titre du F.A.C. général soit au titre du F.A.C. local ont représenté cette même année 18 % de ces recettes.

• Les difficultés que rencontre à l'exportation tout entrepreneur dans les pays à risques : visas, douanes, autorisations temporaires d'importation, fiscalités et réglementations locales, transferts de devises sont quelque peu compliquées par le statut administratif de l'Établissement. D'autre part la notion de **secret** qui s'attache à ces

opérations oblige pour les prises de vues à embarquer dans l'avion un contrôleur qui est militaire (qui est disponible ou ne l'est pas), à développer les films sur place (même si l'alimentation en eau de "laboratoire" est quelque peu irrégulière), à effectuer les calculs sur un ordinateur local (qui même d'un type connu n'accepte pas nos programmes...). Quand l'aléa météorologique se compose avec les difficultés locales (dues beaucoup plus souvent à l'inorganisation qu'à la mauvaise volonté) les documents arrivent dans les ateliers à Paris toujours trop tard, tombent comme par hasard en même temps qu'un autre travail urgent... ! et cela devient un exploit d'éviter les pénalités de retard.

Heureusement ces difficultés qui pourraient décourager le personnel, et sur le terrain et en atelier, l'exaltent au contraire et il apprécie de travailler difficilement pour le vaste monde et en dehors de l'hexagone. Cela fait partie de la légende et de l'image de marque de l'IGN. Il est plus facile d'avoir un volontaire pour partir à Abidjan ou Riyadh le lendemain qu'à Poitiers ou Lille !

## 3 - Comment est organisé l'IGN pour y répondre ?

L'IGN a un service de travaux à l'étranger (S.T.E.) qui dirige un réseau d'agences actuellement au nombre de sept (1) et regroupe des responsables géographiques chargés de la prospection commerciale, de l'élaboration et du suivi des affaires. Quant aux agences, elles ont chacune un ou plusieurs pays dans leur zone d'action et sont chargées des conseils, des liaisons avec les clients, de la prospection, de la négociation sur place des contrats, de supporter les missions de terrain qui vont travailler dans leur zone. Le plus difficile a sans doute été de former à partir de fonctionnaires techniciens rompus à la précision des mesures, à l'exactitude du trait, des négociateurs avisés, courtois et aptes au dialogue, à la subtilité arabe comme à la familiarité sudaméricaine. Un certain nombre ont bien réussi dans cette voie, presque trop bien. C'est devenu une des difficultés du commandement, d'une part de maintenir règles administratives et rigueur, d'autre part d'apaiser les tensions internes qui renaissent constamment entre ceux qui négocient, toujours prêts à défendre leurs clients et ceux qui ont la rude tâche de produire dans des délais contraignants.

Une des difficultés de ces travaux réside dans leur incorporation à un moment peu précis, dans un plan de charge d'atelier qui comporte des travaux déjà programmés en France et ailleurs. Heureusement les phases successives (la prise de vues et les travaux de terrain qui sont relativement longs), permettent de s'y préparer avec

quelques mois d'avance. Les marchés qui se traitent devenant de plus en plus importants en volume et de plus en plus courts comme délais (les grands travaux et le développement n'attendent pas), l'IGN fait appel à la sous-traitance d'une quinzaine de cabinets de géomètres experts groupés au sein de la C.O.F.E.T. (Compagnie Française d'Études Topographiques). Il lui arrive même lorsque les possibilités françaises sont épuisées, de répondre à des appels d'offres en cotraitance ou en sous-traitant à d'autres sociétés européennes (allemandes et anglaises).

Cet article est orienté sur les marchés de travaux, ce qui est la partie la plus visible de l'action de l'IGN à l'étranger ces dernières années. Si on devait faire un bilan exhaustif des activités hors France de cet Établissement Public de l'État interviendrait davantage, je crois, les travaux de coopération scientifique au niveau mondial en particulier en géodésie (qu'a évoqués Claude BOUCHER), l'animation des grandes associations internationales scientifiques où les ingénieurs de l'IGN occupent des postes clefs, les nombreuses interventions de conseil, d'expertise (création de services, délimitations de frontières, pilotage d'expéditions, aide à des recherches archéologiques...), les activités d'enseignement et de formation à Paris et sur place (que traite ailleurs Maurice CARBONNELL).

Si la France s'engage délibérément dans une politique de coopération très orientée vers les pays les moins avancés, il est incontestable que les techniques géographiques avec leurs derniers perfectionnements sont à la base même de toutes les études et les réalisations concrètes pour faire face aux problèmes du développement et que l'IGN y occupera une place de premier plan.

(1) Bamako, Dakar, Niamey, Libreville, Tripoli, Bahrein, Riyadh et Caracas.

# L'École Nationale des Sciences Géographiques et la politique de formation de l'IGN

*Maurice CARBONNELL - Ingénieur en Chef Géographe IGN  
Directeur de l'ENSG*

Pour la formation de ses personnels, militaires et civils, le Service Géographique de l'Armée avait organisé des cours théoriques et pratiques, dans lesquels les officiers, les sous-officiers et les cartographes suivaient un enseignement relatif aux techniques et aux travaux du service, qu'ils n'auraient pu recevoir dans aucun autre établissement. Lorsque l'Institut géographique national a pris en 1940 la succession du Service Géographique de l'Armée, avec des objectifs plus vastes visant à satisfaire en produits géodésiques, topographiques et cartographiques l'ensemble des services publics du pays, la nécessité de maintenir et de développer une formation spécifique de ses ingénieurs, techniciens et ouvriers est aussitôt apparue. Dès 1941, l'École nationale des sciences géographiques (E.N.S.G.) était fondée à cette fin, avec comme premier objectif la formation de base des fonctionnaires destinés à l'IGN.

Considérée comme l'un des services de l'IGN, fonctionnant sur le budget de l'établissement et placée sous l'autorité de son directeur général, l'E.N.S.G. n'a pas reçu une autonomie administrative et financière comparable à celle d'autres écoles directement rattachées à un ministère de tutelle. Bien qu'elle ait été souvent remise en cause, cette intégration de l'E.N.S.G. dans l'IGN a toujours été maintenue : l'arrêté interministériel du 23 décembre 1975 qui définit la mission et l'organisation de l'école l'a rappelé très clairement et le décret du 12 mai 1981 relatif à l'Institut géographique national l'a tout récemment confirmé.

Cette disposition n'a cependant pas figé l'enseignement dispensé à l'E.N.S.G., ni le rôle qu'elle joue à l'intérieur de l'IGN et en dehors de lui. D'une part, en effet, l'IGN a beaucoup évolué au fil des années, tant dans ses travaux et domaines de compétence que dans ses champs d'activité, et l'école, pour remplir efficacement sa mission première, a suivi cette évolution. D'autre part, l'E.N.S.G. a peu à peu regroupé l'ensemble des actions de formation au sein de l'IGN, en étendant son enseignement initial au personnel ouvrier et

en prenant la responsabilité de la formation continue des agents de toutes catégories de l'IGN. Enfin l'E.N.S.G. qui, presque aussitôt, après la fin de la seconde guerre mondiale, avait déjà reçu quelques élèves iraniens et syriens, a suivi, en ce qui concerne l'enseignement, le développement des missions et des activités internationales de l'IGN et le nombre des élèves étrangers n'a cessé de croître pour devenir, actuellement, près de deux fois supérieur à celui des élèves destinés à l'établissement.

De cette évolution résulte une grande diversité des types d'enseignement organisés par l'E.N.S.G. ainsi que des conditions de fonctionnement des cycles de formation initiale ou de spécialisation et des multiples stages de formation continue.

Les deux cent cinquante élèves présents actuellement à l'E.N.S.G., dans les locaux dont elle dispose au sein de l'IGN, à Saint-Mandé et, pour une partie de leur scolarité, dans les centres qu'elle a constitués en différents points de Provence pour la formation pratique aux opérations de terrain, se répartissent dans les sections suivantes :

## **a) Huit cycles de formation initiale**

— Cycle préparant au diplôme de docteur-ingénieur en sciences géodésiques, organisé conjointement avec l'Université de Paris 6 : une année de D.E.A., deux années de recherche.

— Cycle des ingénieurs géographes, dont les élèves sont recrutés à la sortie de l'École Polytechnique ou par des concours spéciaux : deux années d'études, dont six mois de stage.

— Cycle des ingénieurs des travaux pour lequel le recrutement s'effectue par un concours commun avec celui des ingénieurs T.P.E. : trois années d'études, dont un stage de six mois.

— Cycle des géomètres : recrutement par concours du niveau du baccalauréat, deux années de formation.

Dans ces cycles, les élèves étrangers admis sur épreuves spéciales organisées dans de nombreux pays avec le concours des ambas-

sades, suivent le même enseignement que les élèves français fonctionnaires de l'IGN.

— Cycles des techniciens topographes et des techniciens cartographes. Ces deux cycles fonctionnent uniquement pour des élèves étrangers, en particulier pour ceux qui sont présentés par des organismes ayant conclu un accord de coopération avec l'IGN et comportent deux années d'études.

— Cycle des dessinateurs et des restituteurs photogrammètres. Ces deux cycles sont, au contraire, destinés uniquement à la formation en deux années du personnel devant opérer dans les ateliers de l'IGN.

Les diplômes attribués aux étudiants ayant subi avec succès les contrôles de connaissance sont respectivement : diplôme de docteur-ingénieur ou diplôme d'études approfondies, diplôme d'ingénieur du corps des ingénieurs géographes ou diplôme d'ingénieur civil géographe, ingénieur diplômé de l'E.N.S.G., brevet de technicien supérieur d'études et de travaux géographiques, certificat de fin d'études de technicien topographe ou cartographe, certificat de fin d'études de dessinateur photo-identificateur cartographe ou de restituteur dessinateur photogrammètre.

## **b) Cycles de spécialisation**

Ces cycles se répartissent en deux groupes :

— études, pendant une année scolaire, relative à une matière déterminée et correspondant à un programme partiel d'un des cycles mentionnés ci-dessus ;

— cycles longs (une année scolaire) de formation spécialisée en cartographie ou en télédétection ; le second de ces cycles est organisé à Toulouse, dans le cadre du Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale dont les cinq membres sont l'IGN, le CNES, le BRGM, l'IFP et le BDPA.

Les études suivies dans ces cycles de spécialisation conduisent, selon leur niveau, à des certificats d'études supérieures, des certificats de spécialité, ou des brevets de qualification. Le cycle d'enseignement de télédétection peut permettre aux étudiants

ayant déjà les diplômes universitaires nécessaires d'obtenir un diplôme d'études supérieures spécialisées délivré en accord avec l'Université de Paris 6.

**Formation continue** - Organisée par l'E.N.S.G., elle s'adresse essentiellement au personnel de l'IGN. Elle comporte des "modules" d'information, d'initiation ou de perfectionnement, d'une durée d'environ une semaine ; des "modules longs" (un mois) de recyclage dans des domaines particuliers ; l'insertion d'ingénieurs ou de géomètres dans certains cours des cycles réguliers, notamment pour la préparation des concours internes d'accès au corps supérieur ; des formations spécialisées en informatique pour la préparation des examens "portant sur le traitement de l'information" ; des stages très divers à l'extérieur de l'IGN pour le développement des connaissances nécessaires à certaines activités de l'établissement.

**Stages** - Il s'agit de stages organisés au profit de personnes étrangères à l'IGN, qu'elles soient françaises ou qu'elles viennent d'autres pays. Ces stages peuvent être individuels ; ils sont alors effectués aussi bien à l'E.N.S.G. que dans les services de production de l'IGN, ou partagés entre l'école et un ou plusieurs services ; leur nature et leur durée sont très variables. Il peut également s'agir de stages groupés, tels que le stage d'enseignement de télédétection, de sept semaines, organisé chaque année par l'école, ou des stages plus courts répondant à des besoins spécifiques de certaines universités, particulièrement en ce qui concerne l'emploi de la photographie aérienne.

Tous ces stages sont payants. De même, la formation des élèves étrangers dans les cycles de base réguliers est soumise au règlement de droits de scolarité, ces droits étant le plus souvent pris en charge par des organismes boursiers. Droits de stage et de scolarité contribuent au financement des activités de l'école. Celle-ci s'efforce d'obtenir ainsi des recettes qui correspondent au surcoût des actions de formation dû à la présence d'élèves et de stagiaires non destinés au personnel de l'IGN, une partie de la subvention de l'état étant, par contre, utilisée pour assurer les formations initiale et continue des agents de l'établissement.

Le fonctionnement de l'E.N.S.G. et l'organisation de son enseignement, tels qu'ils viennent d'être rapidement présentés, répondent à une politique de l'IGN visant, d'une part à assurer une formation solide de ses ingénieurs, techniciens et ouvriers, d'autre part à une "ouverture" sur l'extérieur, en particulier sur l'étranger, dans le cadre de la coopération ou dans celui de la recherche du développement des activités de production nécessaires à l'équilibre budgétaire de l'institut.

Le premier objectif se trouve facilité par la présence, tant "physique" qu'administrative de l'E.N.S.G. au sein de l'IGN. Si celle-ci est parfois contraignante, elle s'est, en fait, révélée surtout bénéfique puisqu'elle permet à l'école de disposer du soutien logistique de l'institut et qu'elle facilite l'intervention, en qualité d'enseignants, d'un nombre important d'ingénieurs de l'IGN ayant par ailleurs une activité dans les services de production et, par conséquent, très au fait de l'évolution technologique et des besoins concrets que doit satisfaire l'enseignement. Le corps professoral est complété, pour certaines matières de culture scientifique indispensables à la mise en œuvre des techniques géographiques (mathématiques, sciences physiques, informatique, gestion, sciences de la terre, sciences humaines, urbanisme, écologie,...), par des enseignants extérieurs à l'établissement, principalement des professeurs d'université.

Le second aspect de la politique de formation de l'IGN l'a conduit à admettre un grand nombre d'élèves étrangers (plus de 1 500 depuis la fondation de l'E.N.S.G., appartenant à plus de 80 pays), à inclure dans ses accords de coopération passés avec une quinzaine de pays des clauses de formation, à contribuer à la constitution, en territoire étranger, d'écoles spécialisées dans les "sciences géographiques" (au sens spécifique de l'IGN), telles que l'école de Zarqa en Jordanie et l'école d'Arzew en Algérie.

Cette politique évolue actuellement, en poursuivant les mêmes objectifs fondamentaux, mais en recherchant une adaptation optimale aux besoins qui se manifestent dans chacun de ces objectifs et qui doivent définir le rôle interne et le rôle externe de l'E.N.S.G.

Sur le plan interne, l'évolution des missions et des domaines de compétence de l'IGN concrétisée dans les termes de l'arrêté du

12 mai 1981 et liée en particulier à l'évolution des techniques, conduit, d'une part à développer à l'école certains enseignements concernant notamment la cartographie et son automatisation, la télédétection et la cartographie spatiale, ces dernières étant considérées l'une et l'autre sous leur aspect principal de traitement des images satellitaires. L'introduction massive de l'informatique et de l'électronique dans les équipements utilisés et les méthodes mises en œuvre caractérisent également cette évolution des techniques et, par voie de conséquence, de l'enseignement. D'autre part, les besoins de recyclage des personnels de l'IGN dans les techniques nouvelles et la nécessaire mobilité de ce personnel en vue d'en accroître la polyvalence obligent à envisager des actions relativement importantes de formation continue.

Autre aspect de cette politique : l'ouverture vers l'extérieur. Cette ouverture a toujours existé. Elle a conduit, au cours des années, à développer les relations de l'E.N.S.G. avec les universités françaises en faisant appel à leurs professeurs, en organisant des stages pour leurs étudiants et en passant des accords de coopération en vue d'organiser conjointement la formation préparant à des diplômes d'études supérieures. L'IGN et l'E.N.S.G. s'efforceront de développer ces actions de coopération avec les universités mais aussi, si les contacts pris actuellement en confirmant la possibilité, avec d'autres grandes écoles françaises et étrangères.

Ces mêmes actions s'avèrent nécessaires pour les ingénieurs et techniciens étrangers qui ont reçu, il y a plus ou moins longtemps, leur formation à l'E.N.S.G. C'est l'un des aspects du rôle externe de l'école qui doit se préoccuper aussi d'équilibrer au mieux les enseignements qu'elle dispense en France aux élèves étrangers ou qu'elle peut être amenée à organiser à leur profit dans leur pays même, voire dans des centres régionaux.

Toutes ces exigences ont orienté la politique de formation de l'IGN vers une réforme des études à l'E.N.S.G. destinée, outre une certaine mise à jour, à jumeler, pour les techniques spécifiques de ses travaux, la formation initiale des élèves et la formation continue des personnels de l'établissement et des anciens élèves étrangers qui en seraient demandeurs. Cette réforme, limitée aux deux cycles d'ingénieurs et au cycle des géomètres, sera introduite à la rentrée d'octobre 1981.

**Maîtres d'ouvrage:**

# **PRENEZ GARDE A VOS RESPONSABILITÉS**



bureau de contrôle agréé par le Ministère de l'Environnement  
et du Cadre de la vie  
met à votre service ses Ingénieurs et Techniciens  
dans 80 bureaux régionaux pour assurer

## **LE CONTRÔLE TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION**

- pré-contrôle du projet conformément à la loi  
du 4 janvier 1978 et au décret 78-1146 du 7 décembre 1978
- examen du dossier
- contrôle sur le chantier
- vérification des lots techniques
- réceptions

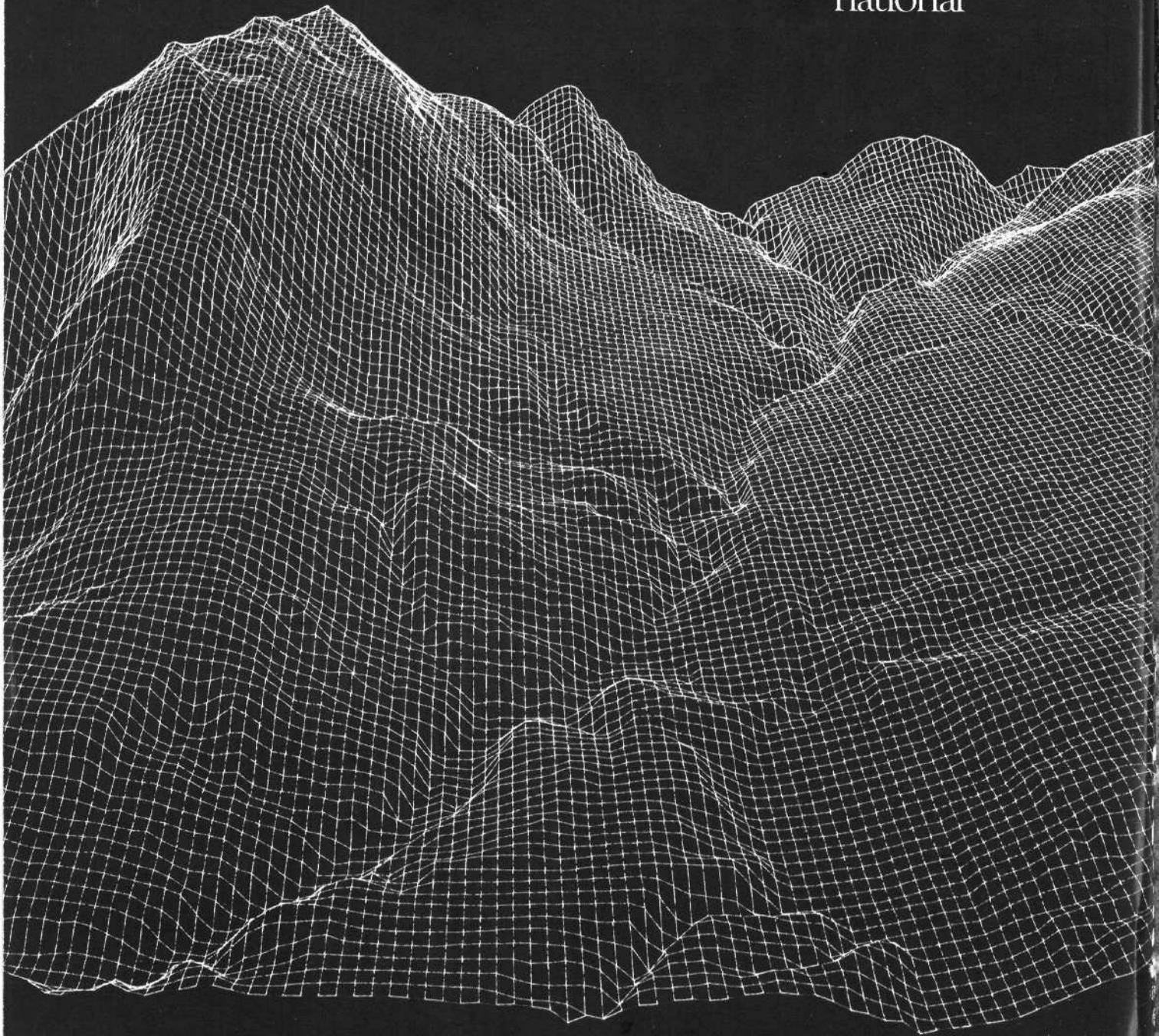
Dès le stade de l'avant-projet, prenez contact avec le service central  
du département «génie civil» et «contrôles des constructions»

du **CETEN** **apave** 102, rue des Poissonniers 75018 PARIS Tel. : 257.11.05

qui vous informera, vous conseillera et éventuellement vous orientera.

# TECHNIQUES D'AVENIR

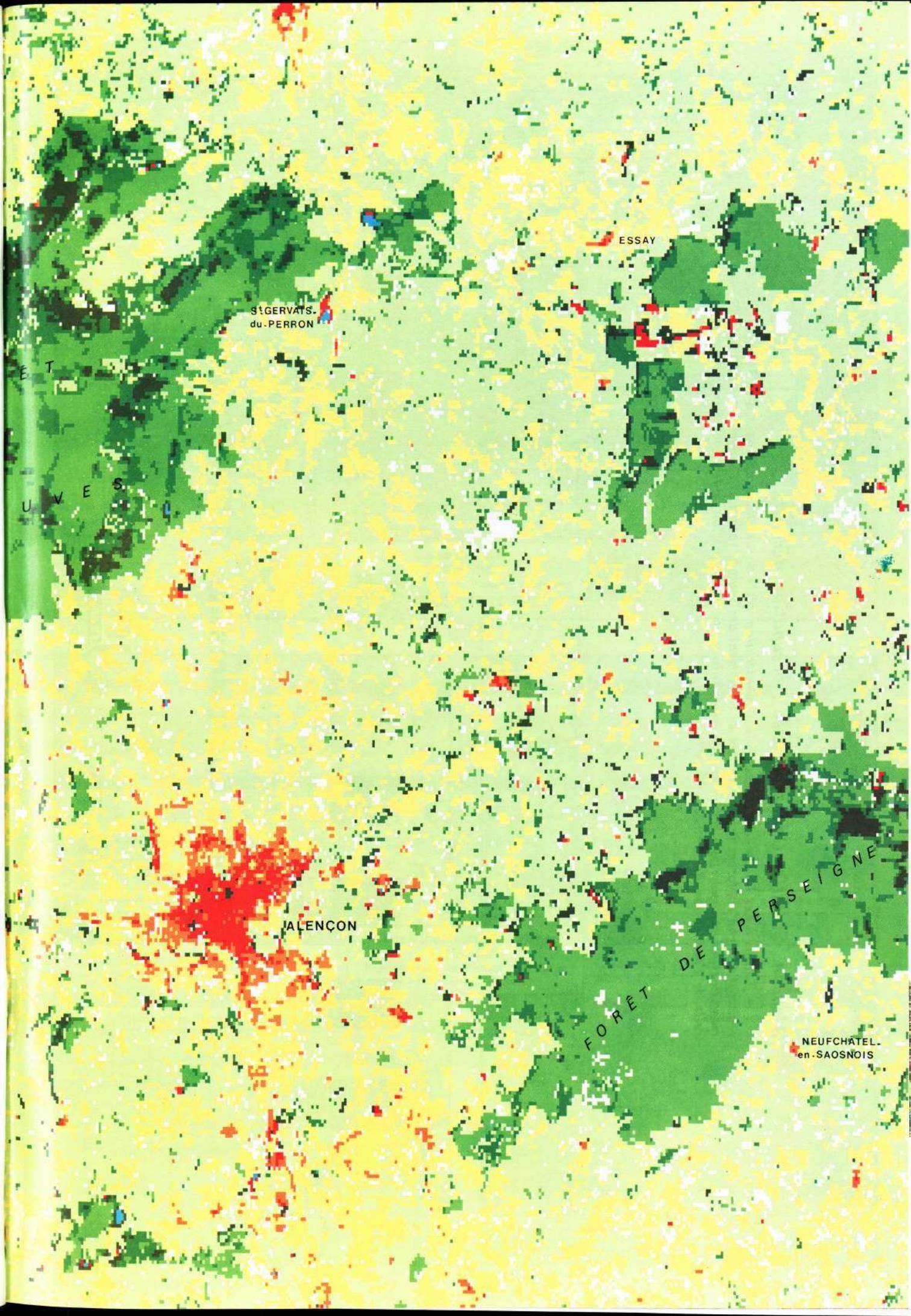
institut  
géographique  
national



# **LA CARTOGRAPHIE** **outil de décision**

**INSTITUT  
GEOGRAPHIQUE  
NATIONAL**

**PCM . 79<sup>ème</sup> année . N°2 . Février 1982**



ST GERVAIS  
du PERRON

ESSAY

ALENÇON

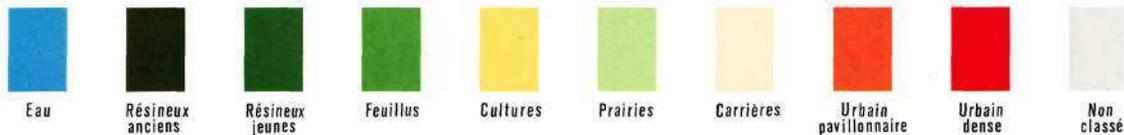
FORÊT DE PERSEIGNE

NEUFCHÂTEL  
en SAOSNOIS

UVESS

***Alençon. Classification supervisée : occupation des sols.***

*Établis à des fins pédagogiques et de démonstration, trois documents graphiques à 1 : 100 000 dans la région d'Alençon explorent les possibilités de traitement des images satellites : une composition colorée, une classification non supervisée de l'occupation des sols et une classification supervisée pour le bocage. Au dos celle de l'occupation des sols.*



**Echelle approximative 1 : 100 000**







## Carte d'évolution de l'île de Ré.

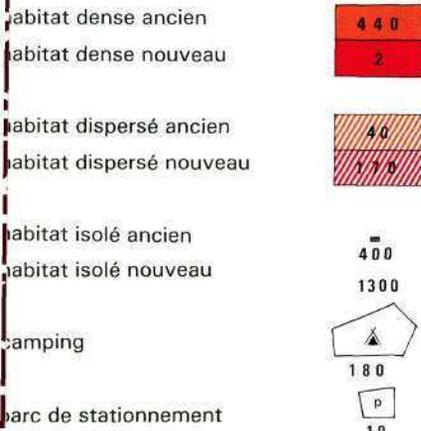
Dressée à l'échelle de 1 : 25 000 en 1979 à la demande du département de la Charente-Maritime, à partir de deux prises de vues aériennes effectuées en 1957 et en 1977, elle dresse un bilan de l'évolution des terrains agricoles (cultures dont vignes, landes et bois) à la suite du développement touristique.

Cette étude a été établie à partir des photographies aériennes, complétée par un passage sur le terrain pour la mise au point des clefs d'interprétation ; c'est un bon exemple du rôle de « mémoire » que jouent les archives de la Photothèque Nationale.

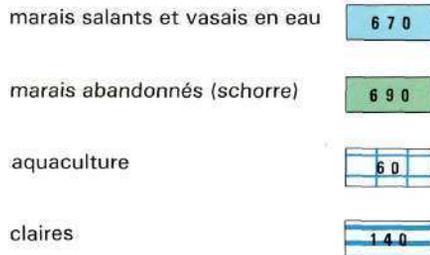
L'application du processus de rédaction informatisé a permis en outre d'obtenir facilement les surfaces de chaque classe.

(surfaces en hectares)

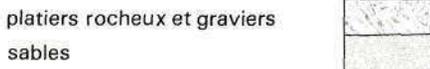
### OCCUPATION HUMAINE



### UTILISATION DES MARAIS



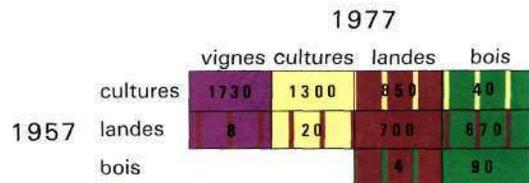
### ESTRAN



### ESPACES AGRICOLES ET NATURELS

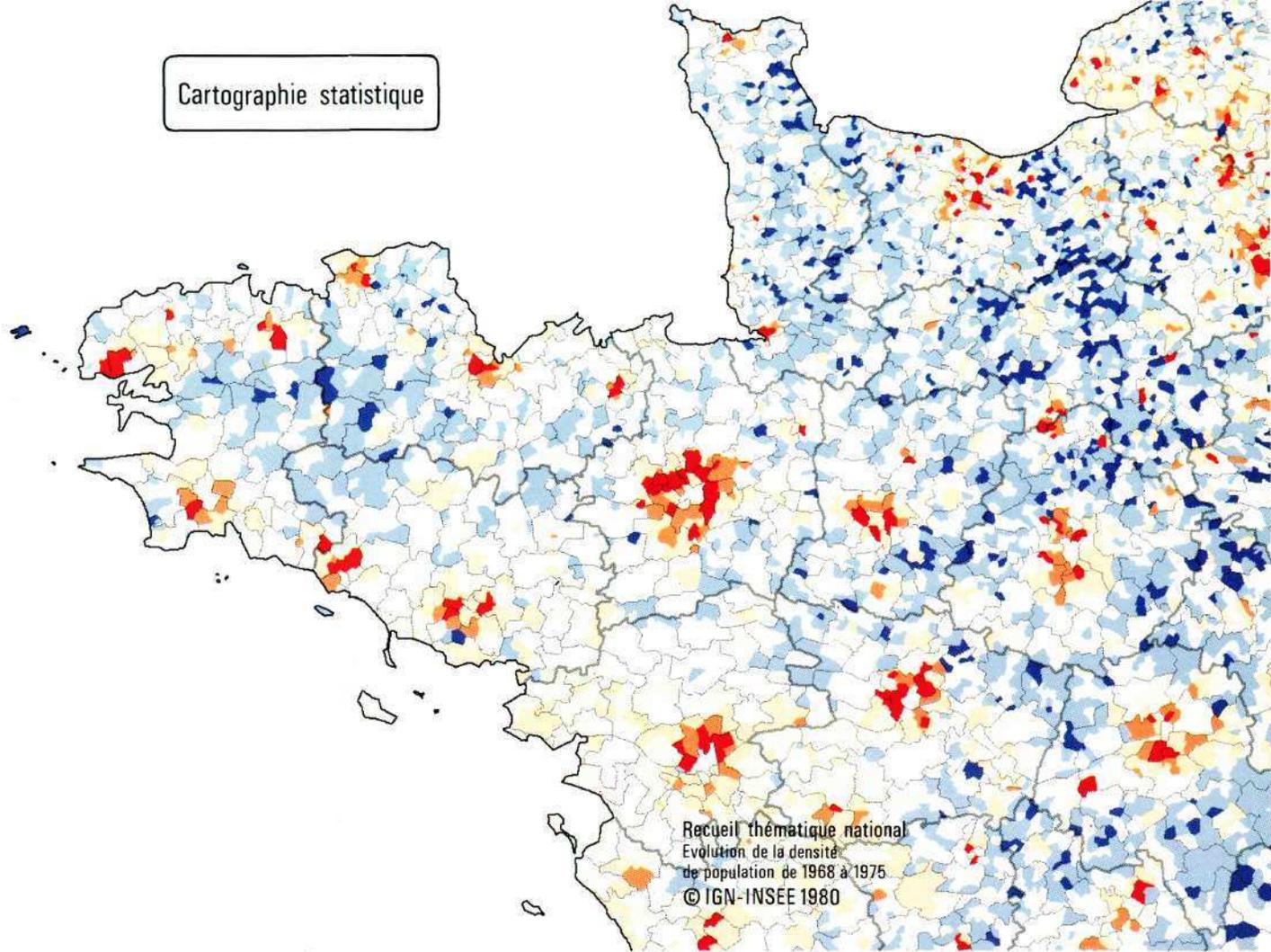


### ÉVOLUTION

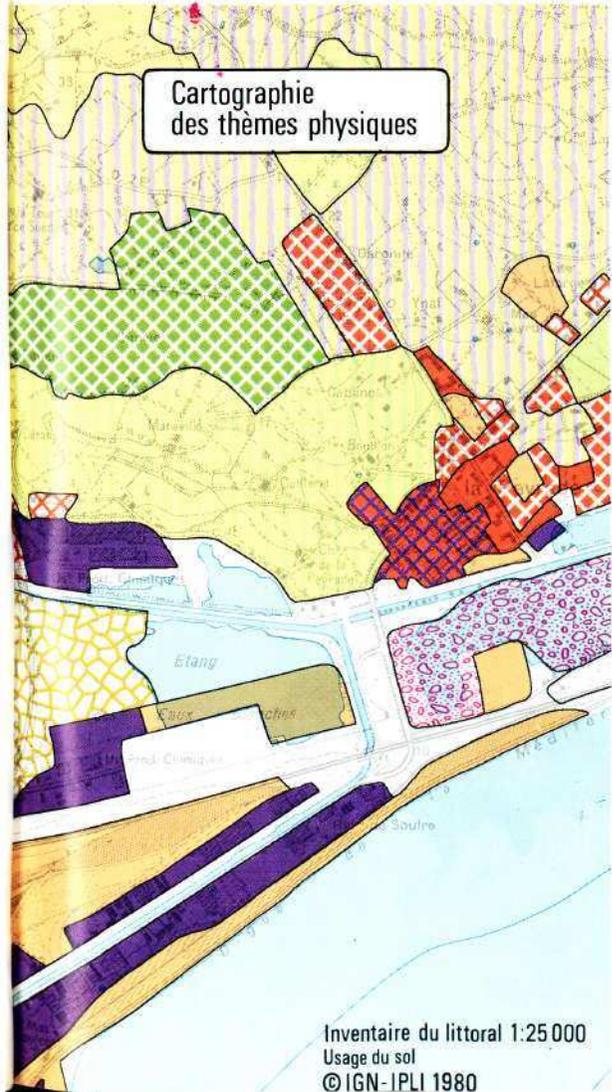


les teintes à plat représentent l'occupation des sols en 1977  
les lignes verticales en surcharge représentent l'occupation des sols en 1957

Cartographie statistique

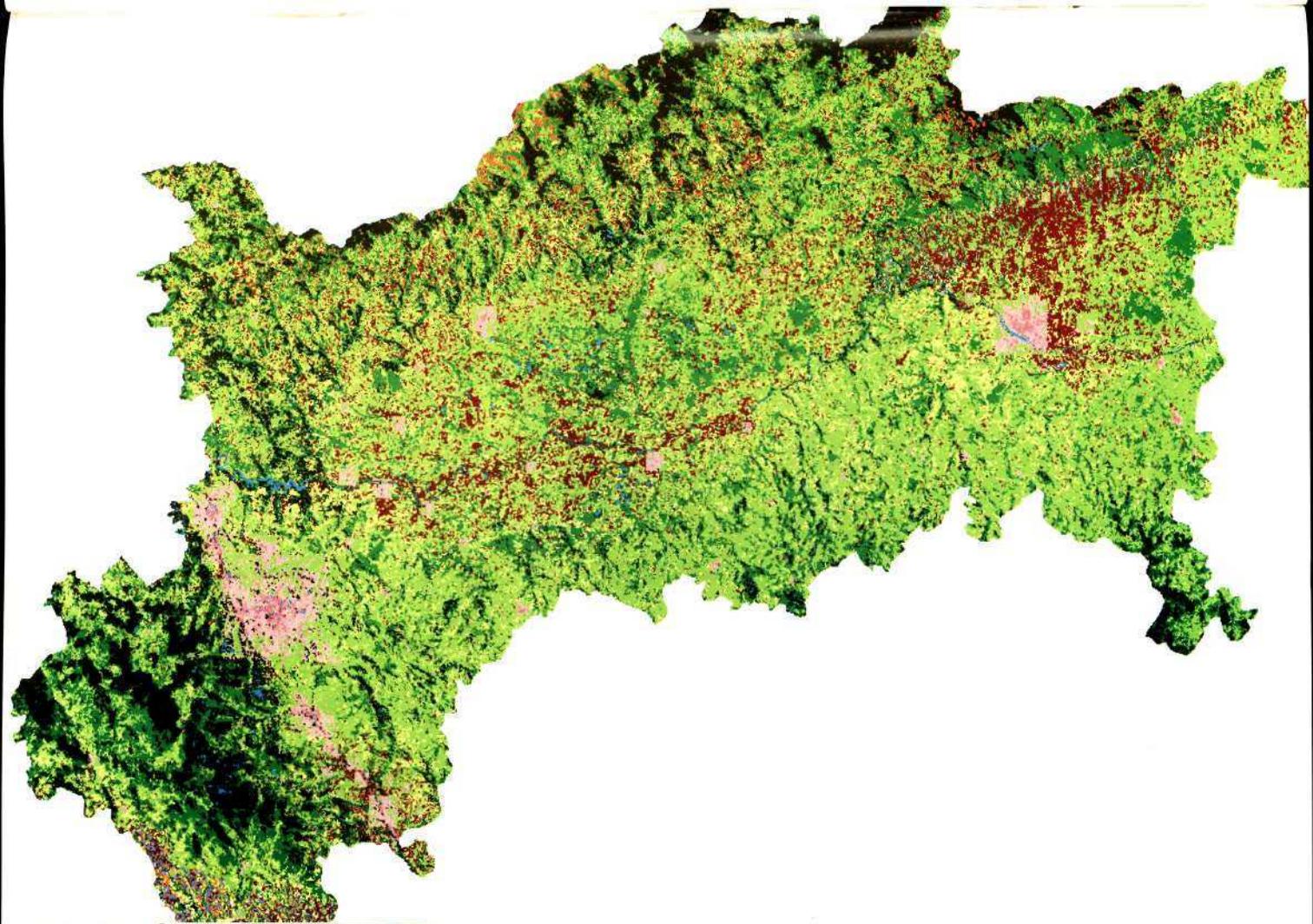


Cartographie des thèmes physiques



Cartographie de base





## **Cartographie de l'occupation des sols du département de la Loire.**

*Cette étude, faite à l'occasion d'un contrat de recherche financée par la Commission des Communautés Européennes, a donné lieu à l'établissement d'un document cartographique à 1 : 100 000. L'exemple au dos en est une réduction.*

*Pour tenir compte des expériences déjà faites dans d'autres régions (Alençon, Aude et Roussillon, et Indre-et-Loire), la diversité interne du département de la Loire a nécessité le découpage préalable en 12 zones homogènes (en particulier zones de plaines et zones de montagnes), sur des critères géographiques complétés par l'examen des photographies aériennes et la composition colorée Landsat.*

*Enfin le croisement des fichiers numériques de la classification et des fiches de statistiques cadastrales et agricoles existantes, a permis d'établir des tableaux statistiques par unités administratives.*





Zones urbanisées		Residential areas
Zones boisées		Wooded zones
Aéroport		Airport
Hydrographie		Hydrography

Exemple d'utilisation de données Landsat pour la mise à jour de certaines surfaces de cartes touristiques à petite échelle (1 : 125 000) : après classification des données, les zones boisées et les zones urbanisées ont été tramées automatiquement en sélection trichrome.

Example of the use of Landsat data for up-dating certain zones of small scale (1 : 125 000) tourist maps ; after classification of the data the wooded and residential areas are screened automatically in three-colours.

