

n° 33

jan. fev. 06



# IGN

# MAGAZINE

Le monde de l'Institut Géographique National



**reportage, à lire en p. 4**

## La recherche à l'IGN Dans l'intérêt général...

Produire des connaissances afin d'anticiper les réponses les plus efficaces aux nouveaux enjeux technologiques d'une société en évolution constante, tel est le rôle dévolu aux quatre laboratoires de recherche de l'IGN. Le décret du 22 novembre 2004 a récemment confirmé la vocation de l'Institut en la maintenant dans le cadre de « l'intérêt général ». Travaillant en étroites relations avec la communauté scientifique mondiale, le Service de la recherche de l'IGN constitue une structure unique en Europe.

**IGN, Et la géographie prend vie.**



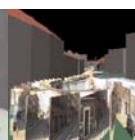
**p.2/3**  
**repères**

L'actualité en bref et en images



**p.11**  
**portrait**

Jérôme Bonaldi, journaliste scientifique



**p.12/13**  
**innovation**

La ville en 3D, la modélisation automatique



**p.14/15**  
**solutions**

ENSG, les laboratoires, formations, thèses...



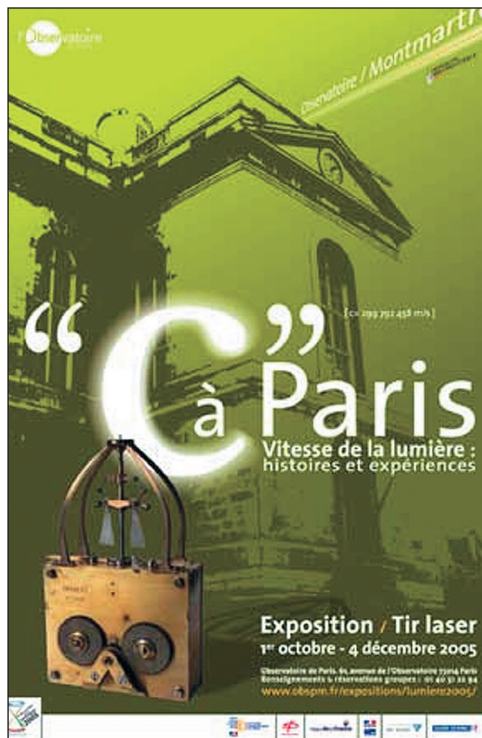
Pour toute information à caractère professionnel : [www.ign.fr](http://www.ign.fr)

## Un rayon vert pour une « Nuit blanche »

**Au** cours de la nuit du 1<sup>er</sup> octobre 2005 (la « Nuit blanche », quatrième du nom), un rayon laser a percé l'obscurité entre l'Observatoire de Paris et Montmartre. Ce tir était le prélude à l'exposition « "C" à Paris, vitesse de la lumière : histoires et expériences », qui a eu lieu du 2 octobre au 4 décembre 2005. Cet événement, auquel l'IGN et l'École nationale des sciences géographiques étaient associés, a été organisé par l'Observatoire de Paris et l'université Paris-VI – Pierre-et-Marie-Curie, dans le cadre de l'Année mondiale de la physique. Pour reprendre l'expérience de Fizeau et parvenir à calculer la vitesse de la lumière, l'IGN et l'ENSG ont mesuré la distance entre l'Observatoire et Montmartre de deux manières différentes :

- par triangulation, méthode utilisée depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle par les géodésiens, notamment les célèbres Delambre et Méchain ;
- par GPS, méthode moderne de mesure et de positionnement.

Fizeau avait imaginé, pour évaluer le temps que mettait la lumière pour aller d'un point à un autre, une roue dentée en rotation traversée par les rayons lumineux. L'Observatoire de Paris a, quant à lui, utilisé les propriétés d'un modulateur acousto-optique. Les calculs ont permis de déterminer « C » avec une bonne approximation (299 750 km/s), soit une erreur de 0,01 %.



### AGENDA

#### JANVIER 2006

■ **Le 19**  
**Forum cartographie**  
À l'ENSG de Marne-la-Vallée.

■ **Du 20 au 22**  
**Salon Loisiroscope**  
À Dijon.

■ **Le 26**  
**Signature d'une convention IGN/UGE**  
pour intégration du réseau TERIA dans le RGP  
À Paris, 40, avenue Hoche.

#### FÉVRIER

■ **Le 1<sup>er</sup>**  
**Forum GPS**  
À l'ENSG de Marne-la-Vallée.

■ **Le 1<sup>er</sup>, à 17 heures**  
**Cérémonie de remise des diplômes**  
À l'ENSG de Marne-la-Vallée.

■ **Le 2**  
**Forum photogrammétrie**  
À l'ENSG de Marne-la-Vallée.

#### MARS

■ **Les 8 et 9 mars 2006**  
**Journées Recherche**  
À l'IGN, salle Robert-Génot, à Saint-Mandé.

## IGN FI au Nicaragua

IGN France International a signé en septembre le contrat qui le lie au Programa de Ordenamiento De la Propiedad (Prodep) du Nicaragua pour la confection du cadastre des départements d'Esteli et de Madriz (nord ouest).

L'appel d'offres a été remporté face à des concurrents sérieux attirés par la relative sécurité qu'apportent les financements de la Banque mondiale.

Après une première phase d'expertise, près de 170 personnes (topographes, opérateurs de saisie, administratifs, juristes) vont être engagées, afin de réaliser le travail en moins de dix-huit mois, avec des moyens numériques pour l'ensemble des différents travaux et, au final, un dossier foncier entièrement numérique.



## GPS, localisation et navigation par satellites

L'arrivée prochaine de Galileo, équivalent européen du GPS américain et du Glonass russe, est à l'origine d'une prise de conscience très forte et nouvelle sur l'importance de la maîtrise de la position des objets et des personnes qui nous entourent. Dans cette dynamique à forte croissance, les auteurs ont jugé indispensable de mettre à jour cet ouvrage de référence sur la technologie de positionnement par satellites. La nouvelle édition de l'ouvrage est parue en août 2005 et les principales nouveautés de cette édition récente sont :

- l'introduction de Glonass, Egnos et Galileo en fin du premier chapitre ;
- le poids apporté au positionnement dynamique (chapitre III entièrement remanié) ;
- un nouveau texte (chapitre IV) sur les applications hors positionnement : transfert de temps, applications météorologiques et mesures d'altitude.

Par Françoise Duquenne, Serge Botton, François Peyret, David Betaille et Pascal Willis. Éditions Hermès-Lavoisier, 330 p., 60 €. ■

### GPS

localisation et navigation par satellites

2<sup>e</sup> édition revue et augmentée

Françoise Duquenne  
Serge Botton  
François Peyret  
David Betaille  
Pascal Willis

HERMÈS-LAVOISIER



# reportage

---



Géodésie spatiale : station laser ultramobile en séance de tir (en Corse).



# Dans l'intérêt général...

L'Institut géographique national français est le seul en Europe à posséder en son sein des laboratoires de recherche. Travaillant dans des domaines aussi variés que la conception d'instruments de mesure spécialisés, la géodésie spatiale ou l'automatisation de la généralisation cartographique, ces quatre laboratoires, associés à l'École nationale des sciences géographiques, se consacrent à des sujets de recherche qui font écho aux grandes activités de l'IGN : production, diffusion et utilisation de l'information géographique.

**L**e décret en Conseil d'État du 22 novembre 2004 redéfinit le rôle de l'IGN : celui-ci a pour vocation de décrire, d'un point de vue géométrique et physique, la surface du territoire national et l'occupation de son sol, d'en faire toutes les représentations appropriées et de diffuser les informations correspondantes.

C'est dans ce cadre que sont définies un certain nombre de missions d'intérêt général : les activités de recherche dans le domaine de l'information géographique constituent l'une d'elles.

Citons encore la direction de l'activité de l'ENSG ou la contribution de l'IGN aux travaux de normalisation.

Les activités de recherche ont trois finalités essentielles et complémentaires. Les connaissances produites contribuent :

– à l'**amélioration** des processus de production de l'IGN en termes de qualité et de productivité. Citons l'impact des recherches en généralisation, la cartographie automatique à partir de bases

de données ou la révolution induite par l'arrivée de l'imagerie numérique ;

– au **développement** de produits innovants, comme la BD PARCELLAIRE® et sa version vectorisée ou les mesures d'altitude par GNSS\* ;

– à l'**émergence** d'applications nouvelles répondant à une forte demande sociétale, dans le domaine de la gestion des risques ou des nuisances, par exemple.

Quant à la nature de ces actions, Patrice Bueso, chef du Service de la recherche, préfère parler de « *recherche publique finalisée* » : >>

*« Toute recherche répond, avant tout, à une finalité scientifique : la production de connaissances. »*

\* GNSS : Global Navigation Satellite System.



## Les quatre laboratoires de l'IGN



**Cogit**  
(Conception objets et généralisation de l'information topographique)  
Laboratoire dédié aux systèmes d'information géographique et à la cartographie. Il étudie les problématiques liées à l'utilisation et à la diffusion des données topographiques vectorielles.



**Lareg**  
(Laboratoire de recherche en géodésie)  
Il étudie plusieurs secteurs importants de la géodésie : géodésies spatiale et physique, géodynamique des systèmes de référence.



**Loemi**  
(Laboratoire d'optique, d'électronique et de micro-informatique)  
Il développe des instruments spécifiques aux travaux de l'IGN, aussi bien pour sa production que pour sa recherche.



**Matis**  
(Méthodes d'analyse et de traitement d'images pour la stéréorestitution)  
Il étudie les outils de fabrication automatique ou semi-automatique de données géographiques à partir des données « brutes » images ou laser.

Ces dernières années, le Matis s'est concentré sur la reconstruction automatique du bâti et la photogrammétrie terrestre et architecturale, ainsi que sur les recherches liées à la physique des images.

» « D'une part, c'est une recherche financée sur fonds publics, d'autre part, elle est "finalisée", car elle est induite par des problèmes concrets qui se posent à nous, aux utilisateurs des données que nous produisons et plus largement au secteur professionnel de l'information géographique. Si ces travaux, comme toute recherche, répondent avant tout à une finalité scientifique – la production de connaissances –, ils sont destinés à trouver des applications à plus ou moins long terme. À titre d'exemple, la mesure d'altitude par GNSS, qui intéresse l'IGN pour sa propre production, répond aussi à une demande spécifique : celle des géomètres experts, qui en seront les premiers usagers. »

### Une moyenne de sept thèses par an

L'activité de recherche de l'Institut emploie actuellement 60 personnes – la plupart ingénieurs de l'IGN. Parmi eux, une quinzaine de doctorants sont accueillis le temps de leur thèse : la moitié sont employés sous contrats de recherche. Les autres bénéficient de bourses du ministère de la Recherche, du Cnes ou de la DGA\*... Parmi les ingénieurs de l'IGN, 11 sont actuellement en thèse, ce qui porte le nombre de doctorants à 25 environ. Chaque année, 7 thèses ou habilitations à diriger des recherches sont soutenues sur l'ensemble des laboratoires. Ces événements sont annoncés sur notre site : <http://recherche.ign.fr>

La vocation de la recherche repose sur la nécessité de maintenir un haut niveau d'expertise scientifique et technique au sein de l'Institut. La production de connaissances a donc pour but premier la modernisation de l'établissement. De fait, les quatre laboratoires forment avant tout des experts – donc du personnel – et la circulation du savoir suit un double mouvement : de l'intérieur vers l'extérieur puisque certains passent par l'IGN pour finalement intégrer l'université, le CNRS, d'autres laboratoires français ou étrangers, ainsi que l'industrie. Mais il est également intéressant que l'Institut bénéficie d'un flux provenant de l'extérieur.

« Les personnes ayant acquis des connaissances au cours d'études ou de recherches effectuées ailleurs apportent d'autres éclairages sur nos propres problématiques. La finalité demeure la même, mais les méthodes de traitement peuvent différer et enrichir les nôtres. D'autre part, ces échanges nous permettent, dans un mouvement inverse, d'essaimer notre expertise vers le monde entier. L'IGN, à travers son Service de la recherche, est un établissement qui a une composante scientifique. Nous pouvons collaborer avec les laboratoires du CNRS parce que notre rôle est fondamentalement scientifique. Il faut souligner qu'il n'existe de véritable recherche – et qu'elle ne peut perdurer – qu'en réseau avec d'autres laboratoires en Europe et dans le monde. »

Toutefois, non seulement toutes ces recherches relèvent d'un plan d'ensemble cohérent – elles s'inscrivent dans un schéma directeur redéfini tous les cinq ans –, mais il appartient aux laboratoires de l'IGN de contribuer sur le long terme à la résolution de points bloquants pour la production. Souvent, les connaissances produites ne correspondent pas directement à des besoins d'applications concrètes : ce sont les projets de développement qui jouent en général un rôle de médiation entre recherche et production. Dans un souci d'efficacité, ils ont presque tous été regroupés au sein du Service de la recherche. Enfin, il arrive parfois que les mêmes acteurs, qui produisent des travaux scientifiques importants, contribuent aussi à réaliser des outils opérationnels. Patrice Bueso cite en exemple une thèse récente sur « Les effets radiométriques en milieu urbain ».

« La question qu'on se pose est la suivante : quels sont les phénomènes physiques qui permettent de comprendre l'apparence de l'image telle qu'elle était enregistrée par la caméra ? La réponse est un formidable apport théorique, mais les développements que son auteur a effectués pour vérifier si sa modélisation et ses algorithmes étaient valables ont eu pour consé-

\* DGA : Direction générale pour l'armement.

C'est au sein de l'IGN que les ingénieurs et les techniciens du Loemi, ainsi que les ouvriers de l'atelier mécanique, ont conçu, au cours des années 90, dans un esprit pionnier, une caméra numérique de prises de vues aériennes pour le secteur civil.

quence que l'on dispose actuellement d'un modèle et d'outils permettant soit d'atténuer, voire corriger les ombres, soit de classer finement le contenu des images. »

En revanche, il arrive que des thématiques de recherche soient abandonnées en cours de route. Ainsi que le note Patrice Bueso, il faut élaguer un certain nombre de branches, elles s'élaguent souvent d'elles-mêmes, ce qui est inhérent à la discipline.

### Pour capturer l'image de base : des instruments sur mesure

C'est au sein de l'IGN que les ingénieurs et les techniciens du Loemi ainsi que les ouvriers de l'atelier mécanique ont conçu, au cours des années 90, dans un esprit pionnier, une caméra numérique de prises de vues aériennes pour le secteur civil. Elle est l'œuvre de Christian Thom, directeur du Loemi, et il en retrace brièvement l'historique :

« Ici, nous développons des instruments qui n'existent pas dans le commerce et qui sont spécifiques aux besoins de l'IGN. Ce fut le cas pour la caméra numérique à capteurs matriciels, que nous avons conçue et construite nous-mêmes à partir de capteurs Kodak CCD, aucun fabricant à l'époque n'étant tenté par l'aventure. Nous en avons essayé plusieurs, en noir et blanc ou en couleurs, à différentes résolutions, de 3 000 x 2 000 à 4 000 x 4 000 pixels. Pour l'IGN, la notion de nombre de pixels est particulièrement importante, en ce sens que plus on a de pixels, plus la bande couverte est large et plus le temps de vol diminue. »

Cet équipement est révolutionnaire à plus d'un titre. Ce sont les chercheurs du Loemi qui, à partir des composants de base, l'ont porté à son niveau technologique actuel : une amplification du signal généré par les capteurs qui minimise le bruit, une compensation électronique de filé. La caméra est montée sur une plate-forme inertielle compensant la dérive de l'avion en la faisant pivoter autour de l'axe vertical. Enfin, les temps de pose sont variables suivant les canaux, ce qui est très important, la réponse du bleu étant trois fois moins énergétique que celle des autres couleurs. Aujourd'hui, sur demande du ministère de l'Agriculture, la caméra comporte quatre canaux, dont un « proche infrarouge ». Mais de futurs développements sont en cours, que Christian Thom expose ici :

« Son avantage, c'est que l'on peut y adapter des filtres spécifiques suivant les usages. Ainsi, on a fait voler, cette année, une caméra six canaux, dont deux panchromatiques.

D'autre part, le Cnes et l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (Onera) viennent de réa-

liser une mission sur Toulouse utilisant 2 systèmes imageurs Pelican, soit 8 canaux, pour l'analyse de l'atmosphère.

### Un objectif : automatiser tout ce qui peut l'être

À partir de ces images numériques, l'IGN, en tant que producteur de cartes et de bases de données, a de gros besoins dans le domaine de la photogrammétrie. Une grande part des saisies provient encore d'une restitution manuelle à partir de couples stéréoscopiques. Les recherches portent désormais sur l'interprétation de scènes, la reconnaissance et la restitution automatique d'objets géographiques. Didier Boldo, directeur du Matis, s'en explique :

« Le Matis est un laboratoire d'informatique. C'est lui qui transforme l'image brute captée par les avions en donnée de haut niveau. Depuis environ quinze ans, l'essentiel de nos recherches repose sur la reconstruction 3D automatique à partir des images aériennes\*. Aujourd'hui, la plupart des procédés sont encore manuels. L'objectif du laboratoire est d'automatiser tout ce qui peut l'être dans les plus brefs délais. »

Les procédures manuelles de stéréorestitution sont particulièrement longues et fatigantes pour la vue. D'ici peu, c'est l'ordinateur qui reconstruira automatiquement la troisième dimension et l'opérateur pourra travailler en 2D, à partir de la BD PARCELLAIRE® et d'une ortho-image à haute résolution. Seuls certains effets particuliers devront encore être traités à la main, mais ils représenteront moins de 5 % du travail. Le prototype, appelé BATI<sub>3</sub>D, fait l'objet d'une étude préalable avant industrialisation, mais l'ensemble du processus est en fin de recherche et début de développement. La préproduction sur des sites tests devrait commencer d'ici à un an et la production de masse d'ici à trois ans. Ses applications seront aussi nombreuses que spectaculaires, selon Didier Boldo :

« En plus de son pouvoir communicant, la 3D présente un intérêt plus stratégique. Ces modèles sont exacts. Ils ont une précision de l'ordre de 20 cm. Donc, ils peuvent servir à faire des études d'impact et de la planification urbaine. De plus, ce type de données permettra d'améliorer la simulation des risques et des nuisances (inondations, pollution sonore). Avec la carte du bruit de Paris, que nous avons réalisée avec le CSTB\*\*, nous pouvons déterminer le niveau sonore par appartement. Il est évident que tous les services concernés par la pollution ou la prévention des risques, en particulier en ce qui concerne les inondations, vont être de plus en plus demandeurs de ce type de données. » >>

## Le projet Pélican

Pélican est le nom donné au système de caméra aéroportée numérique de l'IGN développé par le Loemi et utilisé par le Cnes. Le système est composé de quatre caméras numériques CCD de grand format (une pour chaque couleur : rouge, vert, bleu et proche infrarouge). Ces caméras ont été adaptées aux besoins spécifiques du Cnes pour la préparation des futures missions satellites civiles et militaires, en particulier les simulations Pléiades.

Un des points importants pour la bonne compréhension des milieux urbains est la caractérisation des aérosols et leur répartition. Ainsi, à titre d'exemple, dans le cadre d'un projet commun au Cnes et à l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (Onera) de Toulouse intitulé « Estimation des aérosols au-dessus des zones urbaines à partir d'acquisitions aéroportées à haute résolution spectrale et spatiale », une étude des zones urbaines a été réalisée grâce à la mise à disposition de Pélican au bénéfice de la communauté scientifique.



Le numérique au service de la photographie aérienne. Prise de vue sur Marseille.

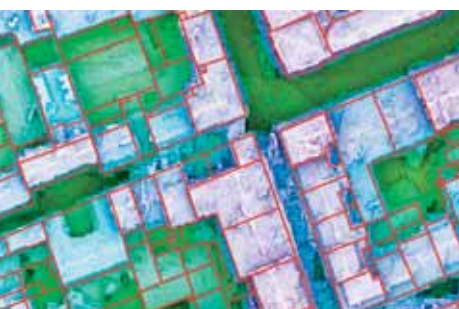
\* Voir image de couverture : modèle 3D urbain autour de la préfecture de Marseille, produit automatiquement à partir d'images numériques aériennes (caméra Loemi, résolution 20 cm, multistéréo) à l'aide des outils développés par le Matis.

\*\* CSTB : Centre scientifique et technique du bâtiment.

## Les différentes étapes de l'outil de reconstruction 3D par le Matis



Image aérienne utilisée en entrée.



Le modèle numérique de surface créé par corrélation automatique.



Ortho-découpe : la découpe (manuelle) d'une parcelle si celle-ci ne correspond pas à la forme 3D.



Reconstruction automatique de la zone une fois le découpage effectué.

## >> Adapter les données aux besoins : créer une véritable convergence

Le Loemi conçoit les capteurs d'images, que le Matis interprète et saisit sous forme de base de données. Reste à les exploiter et à les diffuser. C'est le rôle du Cogit, dont Anne Ruas, directrice de ce troisième laboratoire, décrit la mission :

« Nous travaillons sur des données vectorisées et déjà structurées, pour en faire des produits adaptés aux besoins de plus en plus précis de la société, qu'il s'agisse du grand public ou des institutions. C'est ainsi que depuis environ cinq ans a surgi la nouvelle donnée "risques", qui peut comprendre aussi bien la pollution sonore que toute menace environnementale. C'est une demande sociétale qu'aucun développeur ou producteur de logiciel n'a d'intérêt économique à satisfaire. Il y a des recherches originales et innovantes que l'on fait en complémentarité à d'autres grands centres d'études. »

En dehors de ces demandes importantes, d'autres développements sont, en apparence du moins, plus évidents à mettre en œuvre, car ils répondent à des demandes plus ludiques du grand public. Ainsi, le concept de « carte à la carte » fait son chemin. Chacun de nous sera un jour plus ou moins en mesure de fabriquer sa propre carte selon ses désirs et ses besoins à partir des données de base de l'IGN. Prenons un cas de figure apparemment simple : celui de quelqu'un désirant une carte centrée sur sa maison et utilisant la sémiologie courante des produits de l'Institut. Anne Ruas définit cette problématique comme une « aide au requêtage », une sorte de guidage de l'utilisateur :

« Nous sommes experts en information géographique, tandis que l'utilisateur est expert en ce qui concerne son besoin. Ce que nous recherchons, ce sont les bonnes interfaces qui nous permettront de comprendre l'expression de ce besoin, d'analyser la réponse que cet utilisateur apportera aux propositions que nous lui ferons et de créer une véritable convergence entre ce qu'il désire et les outils que nous pourrions lui fournir pour le réaliser sur Internet. »

Mais la requête pourra être plus difficile à satisfaire. Une institution, par exemple, voudra élaborer une carte ne faisant ressortir que des données agricoles (ou autres) en créant une sémiolo-

## Télémétrie laser sur satellite : Lageos

Ce satellite est une cible privilégiée pour le positionnement par télémétrie laser sur satellite. Situé à une altitude d'un rayon terrestre environ, il est peu sensible aux accidents du champ de gravité et présente donc des orbites stables.

Les mesures de poursuite acquises sur les satellites mis en jeu permettent de calculer les orbites de ces satellites, c'est-à-dire d'accéder à leurs positions et vitesses au cours du temps dans un repère bien défini. Ce calcul repose sur l'intégration numérique des équations découlant du principe fondamental de la dynamique et sur la confrontation entre l'orbite ainsi prédite numériquement et celle physiquement observée grâce aux mesures utilisées. Une fois ces orbites calculées, les mesures de poursuite permettent également d'accéder à des paramètres de premier intérêt pour la géodésie et l'étude de notre planète : le champ de gravité, les positions de stations et les paramètres de rotation de la Terre.

gie qui lui soit propre. Les données géographiques, insiste Anne Ruas, sont complexes et le demeureront. Un des axes de recherche du laboratoire consiste à proposer aux utilisateurs des solutions qui contournent cette complexité.

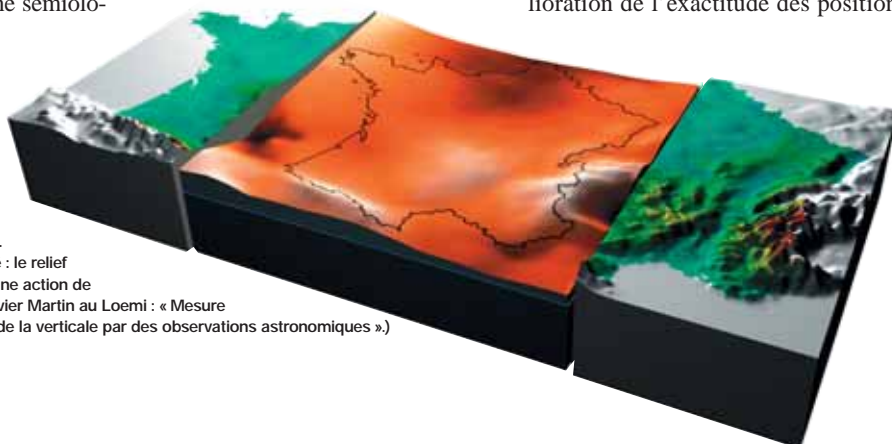
« Derrière le clic de la souris de l'utilisateur, il existe des paramètres de traitement faisant appel à des bibliothèques d'algorithmes provenant des experts du monde entier, mais il n'a pas à les connaître. Plus nous avançons vers cette aide à l'accès aux données, plus nous tentons de réduire cette complexité. Et cette démarche est fondamentalement scientifique : elle nécessite plutôt cinq à dix ans de recherche, qu'une année de développement. »

Il en va de même pour d'autres thèmes de travail comme la généralisation, un domaine où le Cogit est un des leaders mondiaux. L'intégration des données, autrement dit comment gérer ensemble la BD TOPO® et la BD CARTO® et les intégrer dans une BD utilisateurs, est un sujet de recherche particulièrement novateur dans lequel le Cogit s'investit actuellement.

## Des référentiels pour le positionnement

Les coordonnées des objets géographiques, de même que toute position à la surface de la Terre, ne sont définies que par rapport à un référentiel. La définition et la réalisation de ce référentiel font partie des missions du Lareg, dont l'objectif général est l'amélioration de l'exactitude des positions

Au centre : modèle 3D établi à partir du quasi géoïde (QGF98). De chaque côté : le relief de la France. (Une action de recherche d'Olivier Martin au Loemi : « Mesure de la déviation de la verticale par des observations astronomiques ».)







Le satellite Lageos.

déterminées par les techniques spatiales telles que le GPS, la technique Doris (système français d'orbitoraphie par mesure d'effet Doppler) ou la technique SLR (télémétrie laser sur satellite). Cette activité, qui relève de la métrologie, contribue à la recherche scientifique, en particulier en géophysique, comme à de nombreux champs d'application (référentiels nationaux, positionnement, navigation par satellite, etc.). Aujourd'hui, les coordonnées géométriques de quelques centaines de sites à la surface de la Terre sont déterminées avec une précision de l'ordre du centimètre (voire de quelques millimètres) dans le Repère international de référence terrestre (ITRF<sup>\*</sup>). Les scientifiques peuvent s'appuyer sur ce réseau pour déterminer, par des observations GPS, la position de n'importe quel point à la surface du globe avec une précision comparable : des phénomènes tels que les mouvements ou les déformations des plaques tectoniques sont ainsi devenus observables directement, en répétant de telles mesures pendant plusieurs années (voir encadré ci-dessous).

La détermination de l'altitude pose d'autres questions. Lorsque l'on dit qu'un point B est situé à une

altitude inférieure à un point A, on entend qu'une goutte d'eau placée en A doit s'écouler naturellement vers B sous l'effet de la pesanteur. L'altitude est donc liée au champ de pesanteur terrestre. C'est, en pratique, la hauteur géométrique au-dessus d'une surface de référence qui dépend de la pesanteur, et que l'on peut déterminer à partir de mesures de gravimétrie. L'utilisateur ne peut donc connaître son altitude à partir d'une mesure GPS que s'il dispose d'une définition géométrique de cette surface. En France, elle est connue avec une exactitude moyenne d'environ 3 cm. Elle n'est définie, en Europe, qu'avec une précision de l'ordre du décimètre et, sur l'ensemble du globe, qu'avec une précision de l'ordre de 50 cm. Les recherches du Lareg sont aujourd'hui orientées dans deux directions.

La première concerne l'amélioration de l'exactitude des référentiels géométriques. Le laboratoire est chargé, depuis la création de ce référentiel, du calcul de l'ITRF dans le cadre du Service international de la rotation de la Terre et des systèmes de référence (IERS). Au niveau de précision atteint aujourd'hui, les améliorations reposeront en particulier sur une meilleure prise en compte des déformations saisonnières de la croûte terrestre et sur l'amélioration des méthodes de calcul utilisées pour déterminer des positions à partir des observations de géodésie spatiale (GPS, Doris, SLR).

La seconde a pour objet l'amélioration de la détermination des altitudes à partir de mesures GPS. D'une part, il s'agit de faire progresser la qualité de la détermination des positions et des mouvements verticaux de la croûte terrestre par GPS, en lien avec des équipes de géophysique étudiant des phénomènes tels que la subduction des plaques océaniques ou les phénomènes de surcharge (voir encadré ci-contre). D'autre part, il faut améliorer la détermination du champ de pesanteur. Les travaux du Lareg dans ce domaine portent à la fois sur la mesure de la pesanteur elle-même et sur les méthodes de calcul utilisées. Ils tireront également parti de la réflexion du réseau gravimétrique national<sup>\*\*</sup>. ■

## Surcharge océanique et marées terrestres

La Terre réagit en permanence aux sollicitations de son environnement, en particulier quand il s'agit de modifications de son champ de pesanteur dues à des variations de masses externes. Parmi d'autres, deux phénomènes participent à ces variations à courtes périodes.

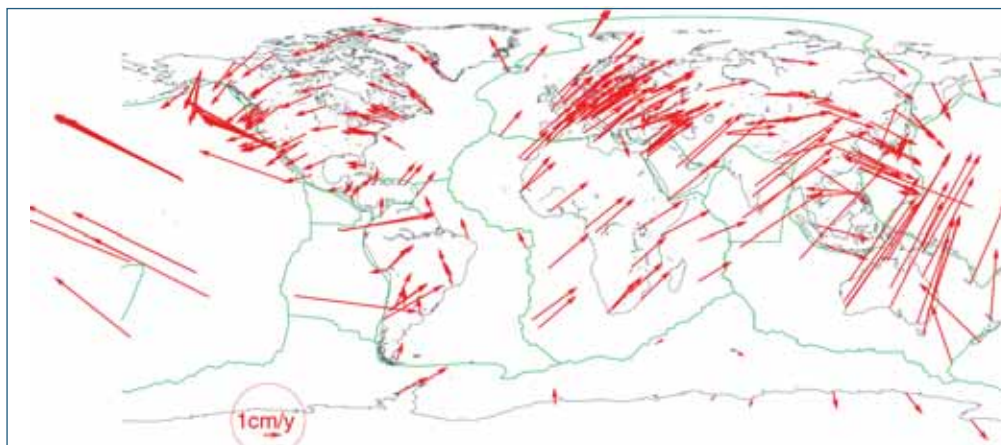
– Les **marées terrestres** correspondent aux variations d'attraction des astres, en tout premier lieu la Lune en raison de sa proximité et le Soleil en raison de sa masse. La Terre réagit comme un solide élastique et se déforme. Ces mouvements ont des amplitudes importantes, de 25 à 40 cm sur la composante verticale, mais se produisent sur de très grandes longueurs d'ondes spatiales. Ils ne vont donc pas affecter les mesures de nivellement ou de géodésie sur de petits réseaux.

– De la même façon, les masses d'eau des océans réagissent à ces variations d'attraction des astres solaire et lunaire, ce qui produit les **marées océaniques** bien connues, avec les mêmes périodes principales (principalement semi-diurnes) que leurs homologues « terrestres ».

Ces marées sont beaucoup plus complexes et viennent à leur tour affecter la Terre solide, qui va se déformer sous l'effet des déplacements de masse d'eau, qui « chargent » plus ou moins la croûte et le manteau. On parle alors de « surcharge océanique ». Contrairement aux marées terrestres, leur amplitude varie sensiblement sur quelques centaines de kilomètres, et les réseaux nationaux comme le RGP y sont sensibles. L'amplitude de la surcharge atteint 7 cm à Brest sur la verticale, 2 cm au Mans et environ un tiers de ces valeurs sur la composante horizontale.



Marégraphe.



## La dérive des continents

**Vitesses de déplacement des stations de géodésie spatiale exprimées dans l'ITRF<sup>\*</sup> en cm/an, mettant en évidence le mouvement des plaques tectoniques.**

L'ITRF est la référence standard adoptée par les unions scientifiques internationales pour les applications relatives aux sciences de la Terre.

Il regroupe l'ensemble des observatoires fondamentaux mettant en œuvre des techniques de géodésie spatiale (plus de 500 sites) pour lesquels il fournit les positions et les vitesses de déplacement qui sont dues, pour l'essentiel, au mouvement des plaques tectoniques.

\* ITRF : International Terrestrial Reference Frame (Repère international de référence terrestre).

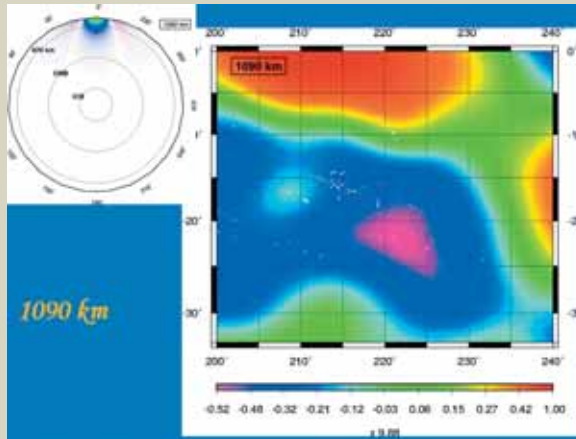
\*\* Voir rubrique « Innovation » d'IGN Magazine n° 32 sur le gravimètre absolu.

À TITRE D'EXEMPLES, QUELQUES TRAVAUX DE RECHERCHE RÉCENTS

Isabelle Panet pour le Lareg : « Représentation du champ de pesanteur sur des repères d'ondelettes sphériques ».

Les représentations en ondelettes sphériques du champ de pesanteur permettent de décomposer, sur une zone donnée, le champ de pesanteur en une somme de contributions dues à des sources situées à différentes profondeurs. Ce type d'imagerie, calculé à partir de données de gravimétrie spatiale et de mesures au sol, peut être produit pour des profondeurs variables (ici 1 090 km) et permet d'appuyer des interprétations géophysiques. Sur l'image ci-contre, par exemple, la zone bleu ciel, qui correspond à une anomalie positive de la pesanteur par rapport à l'environnement immédiat, et que l'on retrouve à d'autres profondeurs, vient confirmer la source profonde du volcanisme des îles de la Société. (Source : thèse d'Isabelle Panet, Lareg.)

Sur l'image ci-contre, on représente les écarts à l'attraction normale (en mGal) dus à des hétérogénéités du manteau terrestre pour des profondeurs variant entre environ 1 100 km et la surface, sur la Polynésie française. La figure de gauche présente schématiquement les hétérogénéités prises en compte dans ce calcul sur une coupe de Terre en fonction de leur profondeur (blanc : non pris en compte ; de violet à rouge : pris en compte avec un poids de plus en plus fort).



### Les Journées Recherche

Tous les ans, le Service de la recherche organise une présentation de son activité de recherche sous la forme de demi-journées thématiques consacrées chacune à un laboratoire. À un bilan de l'année écoulée succèdent les présentations des chercheurs sur leurs principaux travaux en cours. Ces journées se dérouleront les 8 et 9 mars 2006 dans la salle Robert-Génot, à Saint-Mandé et sont accessibles à tout public. Cette manifestation trouve un prolongement dans la publication du *Bulletin d'information*, rapport d'activité de la recherche à l'IGN. Les précédents numéros du *Bulletin* ainsi que le programme des Journées de la Recherche sont disponibles sur le site <http://recherche.ign.fr>

David Sheeren, pour le Cogit : « Étude de la cohérence inter-représentations : vers une meilleure intégration des bases de données spatiales ».

L'unification des données suppose de comprendre la nature des différences de représentation entre les objets de chaque base et d'étudier comment ces objets se correspondent. En particulier, si un même phénomène est représenté différemment dans deux bases, il faut être capable de savoir si cette différence

s'explique par des différences de spécifications entre les bases, que nous appelons des « équivalences » entre représentations, ou par des différences d'actualité des données, ou encore par des erreurs de saisie dans l'une ou l'autre des bases, que nous appelons des « incohérences » entre représentations.

### Amma : projet international d'étude de l'atmosphère

En collaboration avec le Cnes, le CNRS, l'Ifremer, l'Institut de recherche pour le développement, Météo France, les ministères des Affaires étrangères et de la Recherche, l'IGN participe au projet international Amma sur l'étude du phénomène des moussons africaines. Il consiste à tenter de déterminer les éléments perturbateurs de la propagation des ondes lorsqu'elles traversent l'ionosphère et surtout la troposphère, autrement dit son contenu en vapeur d'eau. Olivier Jamet précise : « Un des outils méthodologiques, c'est le GPS. Les géophysiciens d'Amma vont utiliser les résultats du GPS comme entrée dans les modèles d'atmosphères. Nous utiliserons les critiques de ces modèles pour améliorer les méthodologies de traitement du GPS. »

Depuis 2001, le laboratoire Loemi de l'IGN étudie, en étroite collaboration avec le laboratoire d'aéronomie du CNRS, un lidar Raman\* afin de déterminer avec précision les effets de retard troposphérique dus à la répartition spatiale de la vapeur d'eau dans l'atmosphère. Son principe repose sur le décalage en fréquence de l'onde diffusée, qui est particulier à chaque espèce de gaz présent dans l'atmosphère. C'est pourquoi Météo France est directement intéressé en raison de ses études sur les aérosols.

\* Lidar Raman, voir *IGN Magazine* n° 22, rubrique « Innovation » : « GPS et altimétrie de précision ».

### Nicolas Regnaud : de l'IGN à l'Ordnance Survey

Apparemment, une carte constitue une représentation homothétique de la réalité. Mais, en fait, lorsque l'on souhaite en produire une à partir d'une base de données géographiques vectorielles (BDG), il est nécessaire de simplifier les données pour qu'elles soient lisibles à l'échelle de représentation souhaitée. Cette opération de simplification s'appelle la généralisation cartographique. Nicolas Regnaud, titulaire d'un doctorat, a réalisé une thèse pour le Cogit sur ce sujet. Aujourd'hui, il travaille au sein de l'Ordnance Survey britannique. Il représente un excellent exemple de coopération internationale.

« À l'issue de la thèse sur la généralisation du bâti que j'ai rédigée pour le Cogit entre 1994 et 1998, je suis entré à l'université d'Édimbourg pour participer à un projet européen fondé sur l'intelligence artificielle intitulé Automatic Generalisation New Technologies, plus connu sous le vocable de projet Agent. Il avait été initié par l'IGN en collaboration avec Laser Scan, un partenaire industriel britannique, et les trois universités d'Édimbourg, de Grenoble et de Zurich. Je suis resté quatre années à Édimbourg. Au cours de la dernière, j'ai travaillé sur des projets de l'Ordnance Survey. Un poste étant à pourvoir au sein de son Service recherche, j'ai postulé et ai été embauché. Nous avons gardé des liens avec l'IGN France, car nous travaillons sur des projets communs, notamment sur la généralisation. Avec le KMS danois, l'Ordnance Survey et les IGN français et belge, nous avons constitué un "groupe utilisateurs" et nous faisons en sorte d'échanger des connaissances. Nous nous intéressons à un projet né au sein de l'université de Zurich. Il s'agirait principalement d'échanger des algorithmes de généralisation à travers Internet. Nous serions alors en mesure de les publier en tant que

Recherche au Cogit : la généralisation de base de données.

service sur un serveur qui nous serait propre, tandis que d'autres pourraient envoyer des lots de données et une commande. Il nous serait alors possible d'évaluer et de comparer nos algorithmes et de les combiner afin de tenter de trouver des solutions qui nous soient communes. Ils pourraient venir de n'importe où, à partir du moment où ils respecteraient un standard approprié. Pour le moment, celui-ci n'est pas encore défini mais l'université de Zurich y travaille. En fait, nous cherchons tous la même solution, qui reviendrait à constituer une base de données très détaillée à partir de laquelle nous pourrions dériver nos produits actuels et surtout ceux à venir. Lorsque nous y parviendrons, nous gagnerons beaucoup de temps et d'efficacité, car nous travaillons tous sur les mêmes problématiques et si nos solutions diffèrent légèrement, elles suivent les mêmes cheminements. »

#### Contacts

**Patrice Bueso** : patrice.bueso@ign.fr

**Olivier Jamet** : olivier.jamet@ensg.ign.fr

**Christian Thom** : christian.thom@ign.fr

**Didier Boldo** : didier.boldo@ign.fr

**Anne Ruas** : anne.ruas@ign.fr

## Jérôme Bonaldi

### Journaliste scientifique

De l'emblématique carte au 1 : 25 000 à son moderne GPS, en passant par une boussole Recta qui ne le quitte jamais, Jérôme Bonaldi est un homme de « repères ». Il leur confère d'autant plus d'importance qu'il sait que « *tout bouge tout le temps...* », en particulier le nord auquel il tient particulièrement. C'est pourquoi il compte beaucoup sur l'IGN pour tempérer le chaos et maintenir – au moins – les apparences du déterminisme.



Jérôme Bonaldi dit de lui : « *J'ai les pieds sur terre et la tête dans les étoiles.* »

© Pierre Guilbert

**CARTES**  
« Quand j'étais petit, j'allais rue La Boétie\* acheter des cartes. Pour moi, c'était un trésor ! Je les collais sur des morceaux de drap pour qu'elles ne cassent pas. »

**S'**il est une chose que Jérôme Bonaldi entend ne jamais perdre, c'est le nord ! D'où son kit de survie : des **CARTES** et un petit parallélogramme noir bardé de cadrans, la boussole Recta de l'armée suisse. Équipé de la sorte, il envisage la vie avec un large sourire. « *Quel plaisir que de regarder dans un coin de la carte la déclinaison magnétique. Elle varie dans l'espace et dans le temps. Le monde bouge tout le temps, et ce sont les cartes qui nous le montrent. Elles induisent le contraire d'un concept d'éternité, une notion de non-permanence et de fragilité. À notre petite échelle de temps, c'est l'équivalent de la tectonique des plaques.* »

#### Les vraies valeurs sont quantifiables et mathématiques : la distance, la température, le dénivelé...

C'est chez les scouts que Jérôme Bonaldi affirme avoir appris les vraies valeurs : « *Je ne parle pas de concepts moraux, précise-t-il, les vraies valeurs sont physiques, quantifiables et mathématiques. Ce sont le kilomètre, le degré Celsius et le dénivelé. On les apprend en marchant et en couchant à la belle étoile, à travers la fatigue, le froid et le chaud.* » Demeuré grand arpenteur de routes, GR et sentiers, il ressent un véritable sentiment de gratitude à la vue d'un repère de nivellement. « *J'aime beaucoup, en haut d'une piste de ski, rencontrer un POINT GÉODÉSIQUE. Je pense à ce héros anonyme qui est passé là avant moi, avec son matériel, son eau, son ciment et sa générosité. Je voudrais lui dire merci lorsque je me sers de son travail pour caler mon GPS.* » Ce GPS, justement, qu'il définit comme « *le comble de la modernité et de la branchitude...* » et qui vient de faire déborder les hottes du Père Noël, est là pour répondre à deux questions que l'homme se pose depuis la nuit des temps : « *Où suis-je ? où vais-je ?* » Il tente, selon Jérôme Bonaldi, de résoudre un problème insoluble : « *Les calculs de positionnement seront toujours aléatoires, car ils relèvent d'équations complexes faisant intervenir les concepts de célérité et de temporalité chers à Einstein et de Broglie. Mais, de plus, à partir du moment où je regarde, je perturbe... C'est joli ! En marchant, en Corse, le long du GR 20, on peut penser à ces choses-là.* »

#### L'immuable et le mouvant : déterminisme et chaos

Une chose le surprend : que l'IGN n'ait pas été maître d'œuvre du lancement du satellite Topex Poséidon dédié à l'étude des mouvements océaniques. « *C'est dommage ! C'est l'IGN qui a découvert que l'océan était fait de creux et de bosses...* », autre preuve de l'instabilité fondamentale de l'univers, du **CHAOS** qui nous guette à long terme sous les apparences de l'immuable. Aux aguets du mouvant, il aime le tangible et le permanent. « *Je vais reprendre cette allégorie du nord, qui bouge et que je ne perds pas. Nous vivons encore sous les lois de la physique newtonienne mais nous sommes les jouets de la puissance du temps qui passe. J'aime le travail des cartographes parce qu'il me procure une impression d'intemporalité et de permanence. Pourtant ils frôlent l'indéterminisme le plus total. Le chaos indéterministe est à nos portes et l'IGN surfe là-dessus !* »

Ce qu'il résume d'une phrase : « *En Corse, le long des sentiers, grâce à ma carte et à ma boussole, j'ai les pieds sur terre et la tête dans les étoiles.* » ■

**POINT GÉODÉSIQUE**  
« Monter un calvaire en haute montagne, c'est aussi beau que de monter un point géodésique, mais je préfère le point géodésique parce qu'il est laïc. »

**CHAOS**  
« L'horloge parfaitement réglée du ballet des étoiles semble immuable et pourtant, à une échelle de temps plus élevée, c'est un chaos innommable ! »

#### La pédagogie par l'analogie

Grand vulgarisateur de données scientifiques à travers la lucarne télévisuelle, Jérôme Bonaldi revendique l'axiome de l'école de Palo Alto : « *On n'apprend bien que ce que l'on connaît déjà.* » Il s'en explique : « *La technologie, c'est de la science appliquée. L'expliquer, c'est le bon vieux système de la cognition. Quand ma grand-mère faisait du point de croix, elle inventait le fax, ou plutôt la compression numérique. Vous savez jouer au billard ? Je vais vous raconter l'échographie ! Vous avez eu froid après un match de foot ? Je vais vous démontrer le principe de la réfrigération. Vous aimez les raccourcis ? Je vais vous parler de « l'effet tunnel » et de mécanique quantique. J'aime raconter des histoires, donc raisonner par analogies... » CQFD !*

#### Biographie

Né en 1952 à Lyon, Jérôme Bonaldi s'engage dans une carrière scientifique. Diplômé de maths-physique, il change radicalement de voie : il intègre le Centre de formation des journalistes (CFJ) en 1973 et en est diplômé en 1975. En 1976, il entre à France Inter, qu'il quitte en 1984 pour Canal +, où il participe en particulier à « Nulle part ailleurs ». Il y crée également un magazine de vulgarisation scientifique « Dis, Jérôme... ? », « l'ancêtre » de « C'est pas sorcier ». En 2001, il rejoint l'équipe du magazine « On vous dit pourquoi ! », qu'il coanime avec Églantine Emeyé en 2004. Il présente aujourd'hui le rendez-vous scientifique de France 2 qui change de nom et devient « Savoir plus sciences ».

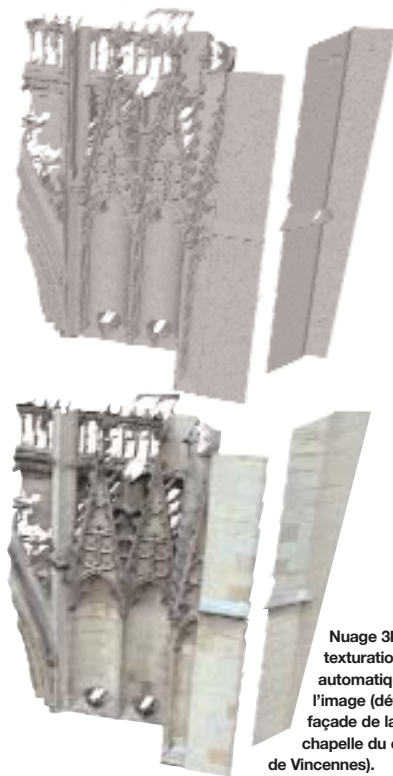
\* 107, rue La Boétie : la boutique grand public de l'IGN à Paris.

## La ville en 3D

Le développement et l'intégration de nouvelles technologies permettent d'envisager, à relativement court terme, une automatisation importante des processus de modélisation urbaine.

Au sein du laboratoire Matis et en collaboration avec le laboratoire Loemi, l'équipe Archi développe, de manière prospective, de nouveaux systèmes de collectes terrestres pour la constitution des

futures bases de données urbaines 3D, dont l'exactitude approchera le centimètre.



Nuage 3D avec texturation automatique de l'image (détail de la façade de la sainte-chapelle du château de Vincennes).

**L**e laboratoire Matis a développé une expertise importante dans la génération de modèles 3D à partir d'images aériennes. Pour certaines applications, où le réalisme est nécessaire, les modèles peuvent être habillés avec les textures provenant des images aériennes pour les toits mais aussi pour les façades, à condition que les focales utilisées soient suffisamment courtes. Toutefois, les acquisitions aériennes ne permettent pas de modéliser l'ensemble des objets et des détails que l'on souhaiterait voir apparaître dans de futurs modèles 3D de villes (e. g. textures riches de façades pour une exploration piétonnière, édifices remarquables avec l'ensemble de ses détails architecturaux, mobilier urbain, trottoirs, etc.). Des moyens de collecte de données terrestres sont donc indispensables pour dresser la cartographie urbaine la plus utile possible. Ces outils traditionnels (théodolites, station totale), quoique très précis, sont encore bien trop longs à mettre en œuvre pour envisager une couverture systématique du territoire à des coûts réduits.

### Levers de corps de rue/couloirs urbains

Depuis une dizaine d'années, avec le développement de l'imagerie et de la navigation numérique, les systèmes de levers cartographiques mobiles (en anglais Mobile Mapping Systems) adaptés aux levers « linéaires » ont connu un développement important. Ces systèmes sont des vecteurs (aériens

ou terrestres, voitures, camionnettes, hélicoptères ou autres) qui produisent en mouvement de la donnée géoréférencée, à l'aide d'un ensemble de systèmes de navigation : le plus souvent GPS, centrale inertielle, odomètre, qui déterminent la localisation et l'orientation de la plate-forme dans l'espace.

Le Matis développe une solution équivalente, où les données géoréférencées sont des images utilisées pour habiller automatiquement les façades des bâtiments et les corps de rue. Ces images sont acquises, à bord d'un véhicule, avec un recouvrement de manière à former des couples stéréoscopiques qui pourront être exploités, de manière manuelle (par le biais d'un opérateur dans un atelier de restitution) ou automatique, pour extraire des objets d'intérêts thématiques qui iront peupler un SIG 3D.

La conception de ce SIG urbain est d'autant plus difficile que les besoins des clients sont variés en termes d'objets à lever, de détails sur les objets, de précision relative et absolue. La solution est alors de fournir une base de données d'images géoréférencées (un peu comme les photos de façades des Pages jaunes mais avec une résolution subcentimétrique et en 3D) avec un outil qui permet à l'utilisateur de modéliser rapidement en 3D le monde à hauteur de ses besoins et de générer des produits dérivés classiques comme, par exemple, des ortho-images, etc.

Quelle précision peut-on attendre d'un tel système ? Dans un tissu

urbain dense comme les centres-villes européens, les masques du GPS sont importants et engendrent fréquemment des interruptions de signaux, et surtout des multitrajets qui altèrent la précision de localisation du système. La centrale inertielle et l'odomètre permettent partiellement de compenser ces manques et biais. Toutefois, leurs dérives inhérentes sont telles que la précision absolue est considérée comme métrique si les durées d'occultation sont importantes (de l'ordre de 1 à 2 minutes). Quelles sont les alternatives si l'on souhaite obtenir des localisations absolues plus précises, par exemple décimétriques ?

Une solution originale développée au laboratoire est d'utiliser l'image comme sous-système de navigation (localisation et orientation). On constitue automatiquement, à partir des images aériennes, des marquages routiers qui peuvent être reconstruits très précisément car leur forme est simple et connue, et leur gabarit très contraint. Les marquages sont ensuite extraits dans les images terrestres et appariés avec la BD aérienne. Le véhicule se recalc ainsi sur ces objets d'appui, permettant l'obtention d'une précision absolue décimétrique. Un des avantages de ce gain de précision est que l'on peut reconstruire des modèles numériques de surfaces précis des façades par des techniques d'appariement d'images. Cela permettra d'améliorer la localisation absolue et le niveau de détails de la BD PARCELLAIRE\*.

### Le photo-théodolite

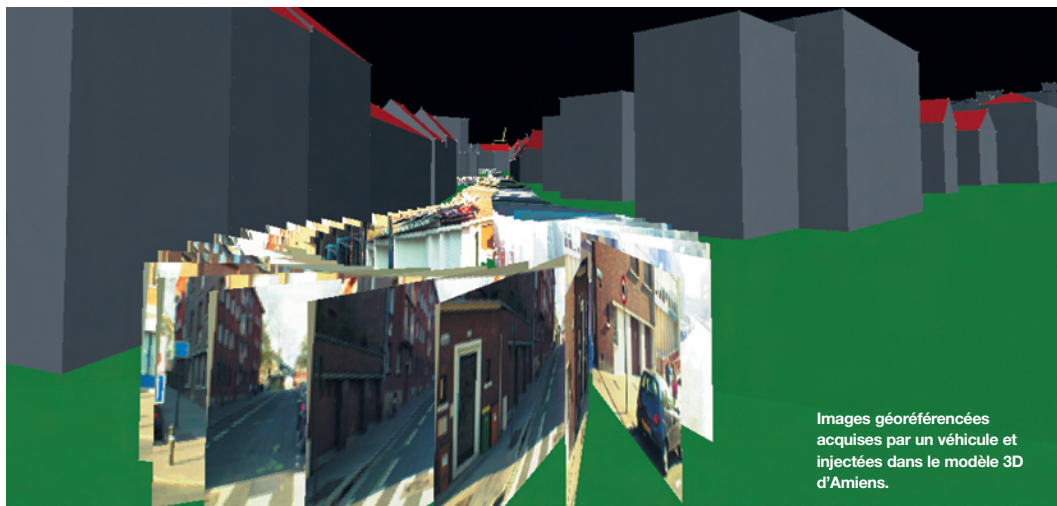
Le photo-théodolite associe une petite caméra numérique avec un théodolite ou une station totale. Le théodolite est un instrument qui permet de mesurer la direction de visée de points observés mais aussi de déterminer sa localisation et son orientation par relèvement sur un ensemble de points et dont la localisation est connue. Ainsi, on géoréférence simultanément l'image. L'appareil ci-contre est développé en collaboration avec l'unité Travaux spéciaux du Service de géodésie et nivellement de l'IGN. La caméra se trouve sous la lunette du tachéomètre.





La caméra totale, développée en collaboration avec l'ENSG, intègre un appareil photo numérique, un GPS mesurant la position et une centrale inertielle déterminant l'orientation de l'ensemble dans l'espace. Le tout permet d'obtenir une image directement géoréférencée.

## Vers une modélisation automatisée



Images géoréférencées acquises par un véhicule et injectées dans le modèle 3D d'Amiens.

### Modélisation d'édifices remarquables

Dans des perspectives de réalité virtuelle urbaine et touristique, il est vraisemblable que les modèles 3D élaborés automatiquement à partir des images aériennes et terrestres suffiront à représenter une grande partie de la ville.

Toutefois, les édifices et sites remarquables, qu'ils soient archéologiques, architecturaux ou autres, seront sans aucun doute les entités de prestige de ces futures bases de données 3D et par conséquent modélisés avec une finesse encore plus grande.

La photogrammétrie terrestre, technique quoique très bien adaptée à ce type de levés, est restée très marginalement utilisée en raison de la lourdeur de la restitution manuelle et donc de son coût prohibitif. Les développements récents de la lasergrammétrie font de ce nouvel instrument un outil incontournable pour la numérisation topographique automatique de l'édifice.

Toutefois, l'image et la photogrammétrie restent tout aussi incontournables et complémen-

taires de la lasergrammétrie. Une des originalités des travaux menés au sein de l'équipe Archi réside dans l'utilisation conjointe d'image et de laser, et dans l'intégration de techniques photogrammétriques et lasergramétriques. D'une part, l'image est nécessaire pour texturer et comprendre le modèle relevé, d'autre part, le laser reste une technique d'acquisition relativement lente, alors que l'acquisition photographique est quasi instantanée. On comprend que, pour des raisons opérationnelles, l'échantillonnage spatial des acquisitions laser est choisi volontairement inférieur à celui de l'image. Tout l'intérêt d'une modélisation conjointe, en utilisant le laser comme une solution initiale pour la photogrammétrie, devient évident.

Le traitement conjoint de ces données nécessite toutefois la détermination de la position et de l'orientation relative des nuages de points et des images. Pour ce faire, le laboratoire développe un prototype de système semblable à celui du « véhicule cartographe », mais portable, léger et adapté à ce

type de chantier. Ce système est équipé d'un GPS et d'une centrale inertielle miniaturisée. Insuffisamment précise pour se contenter du géoréférencement direct, mais assez pour initialiser un ajustement fin par compensation de faisceaux utilisant des appariements de points d'intérêt homologue entre les images. Quand l'utilisation du GPS n'est pas possible, on peut utiliser un système où une caméra est montée sur un théodolite. Ce système de précision a également un potentiel très important pour l'auscultation d'ouvrages.

Afin d'augmenter de façon significative l'efficacité de production et de faciliter l'analyse de scènes terrestres, le Matis développe, en partenariat avec la société Mensi (filiale de Trimble) et EDF R&D, des outils automatiques de segmentation image-laser.

On l'aura bien compris, la modélisation 3D urbaine subit une évolution très rapide qui permettra à l'ensemble des utilisateurs de disposer de bases de données plus riches grâce à des moyens de production plus rapides. ■

### Le laser à balayage

Un laser temps de vol mesure le temps, donc la distance parcourue par la lumière entre un objet observé et la source. La rotation contrôlée d'un miroir devant le faisceau laser permet de balayer l'espace. Un codeur angulaire mesure l'orientation de ce faisceau et exprime ainsi dans le repère propre de l'instrument les coordonnées tridimensionnelles du point mesuré. L'acquisition de points de vue différents offre une description aussi complète que voulue de l'objet étudié avec une précision centimétrique (voir 4<sup>e</sup> de couverture).



#### Contact

Nicolas Paparoditis  
nicolas.paparoditis@ign.fr

### Le véhicule stéréocartographe



Le véhicule stéréocartographe est un système de cartographie mobile qui produit des couples stéréoscopiques géoréférencés à l'aide de GPS, centrale inertielle, et odomètre. Ces couples stéréoscopiques sont utilisés pour mesurer, de manière automatique ou manuelle, la forme, la dimension et la localisation d'objets qui iront peupler des SIG 3D.



Couple de photographies réalisées à partir du véhicule stéréocartographe. Une grande variété d'objets peut être levée selon les besoins, tels que les façades, le mobilier urbain...

## ENSG et Recherche : formations, thèses...

### LE RECRUTEMENT À L'ENSG : question de M<sup>lle</sup> Julie Cheikbossian (Saint-Pierre-des-Corps, 37)

« Je souhaiterais me présenter aux concours de dessinateur-cartographe et de technicien géomètre de l'IGN. Pourrais-je recevoir le catalogue des formations, le programme des enseignements, ainsi que le détail des épreuves ? »

#### Réponse

L'ENSG recrute chaque année des élèves civils et des élèves sous contrat avec l'IGN. Toutes les formations et les conditions d'admission sont détaillées sur le site [www.ensg.ign.fr](http://www.ensg.ign.fr) (rubrique : L'offre de formation initiale).

Le recrutement des dessinateurs-cartographes se fait au niveau de la classe de seconde générale, celui des techniciens géomètres s'adresse aux titulaires du bac S ou STI.

Mais l'ENSG forme également des ingénieurs : la sélection a lieu sur concours (TPE/EIVP/ENSG) pour les élèves des classes préparatoires scientifiques, ou pour les étudiants de niveau bac + 2 scientifique (concours national deug physique). Certains élèves, d'un excellent niveau scientifique, peuvent également être recrutés sur dossier après entretien avec un jury. Enfin, l'ENSG présente un catalogue d'une dizaine de masters pour des étudiants souhaitant acquérir une spécialisation de haut niveau. ■

#### Contact

ENSG - Cité Descartes  
Marne-la-Vallée  
[info@ensg.ign.fr](mailto:info@ensg.ign.fr)  
01 64 15 30 01

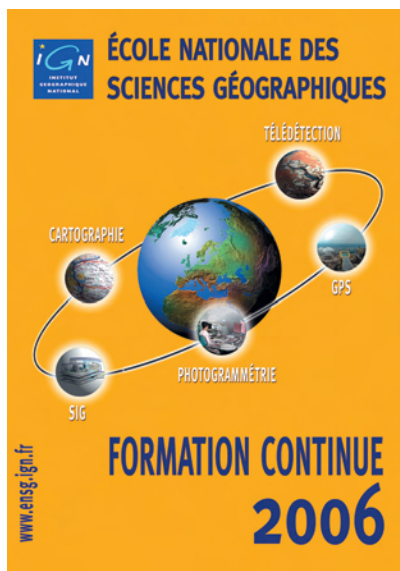
### FORMATIONS SPÉCIFIQUES : question de M<sup>me</sup> Brigitte Luneau (Paris)

« Pour plusieurs de nos collaborateurs de l'Office national interprofessionnel des céréales (Onic), nous recherchons, avec un certain caractère d'urgence, des formations spécialisées en télédétection, photogrammétrie et systèmes d'information géographique. L'ENSG pourrait-elle nous conseiller dans ces disciplines ? »

#### Réponse

Vous trouverez dans le catalogue de formation continue 2006 de l'ENSG, en ligne sur le site [www.ensg.ign.fr](http://www.ensg.ign.fr), une offre complète de modules de courte durée dans les domaines que vous énoncez, de même qu'en cartographie ou positionnement par GPS.

Sachez cependant que si les stages proposés ne correspondent pas exactement à ce que vous recherchez, l'ENSG est à votre disposition pour mettre en place des formations sur mesure adaptées à votre demande spécifique. ■





Pour toute information à caractère professionnel : [www.ign.fr](http://www.ign.fr)

**DEMANDE DE STAGE : question de M. Blaise Atsin (Saint-Mandé 94)**

« Je suis étudiant en fin de cycle de licence professionnelle en intelligence économique à l'université de Paris-XII (Val-de-Marne). J'aimerais faire un stage de quatre mois à l'IGN.

Ma contribution serait essentiellement dans le domaine de la veille compétitive et/ou la mise en place d'une démarche d'intelligence économique autour d'un sujet de recherche. De fait, les sujets de stage des laboratoires Matis et Cogit se rapprochent des objectifs de ma formation (licence) et de celle de l'année prochaine (mastère recherche en veille compétitive). »

**Réponse**

En fin d'année, le Service de la recherche propose, pour l'année suivante, une vingtaine de sujets de stage de recherche d'une durée de quatre à six mois pour des étudiants de niveau troisième année d'école d'ingénieur ou Mastère (M2). Le stage a lieu dans les laboratoires de l'IGN, à Saint-Mandé ou à Marne-la-Vallée. Ils se déroulent généralement de mars à septembre.

Sur son site <http://www.ensg.ign.fr/> l'ENSG propose également un certain nombre de stages tous les ans. La publicité des stages est aussi réalisée sur le site du Service de la recherche : <http://recherche.ign.fr> ■



**PASSAGE DE THÈSE : question de M. Walid Chouari (Paris)**

« Doctorant à l'université Paris-VII (géomorphologie), je prépare une

thèse intitulée « Cartographie de l'environnement et des risques naturels dans le Grand Tunis ». Dans le cadre de mes recherches doctorales, j'ai besoin de maîtriser les outils informatiques en cartographie. Je suis très motivé par l'ambiance de recherche et la réputation scientifique de l'IGN. Je souhaiterais savoir s'il y a des possibilités de recrutement pour des étudiants étrangers au sein des équipes de l'IGN. »

**Réponse**

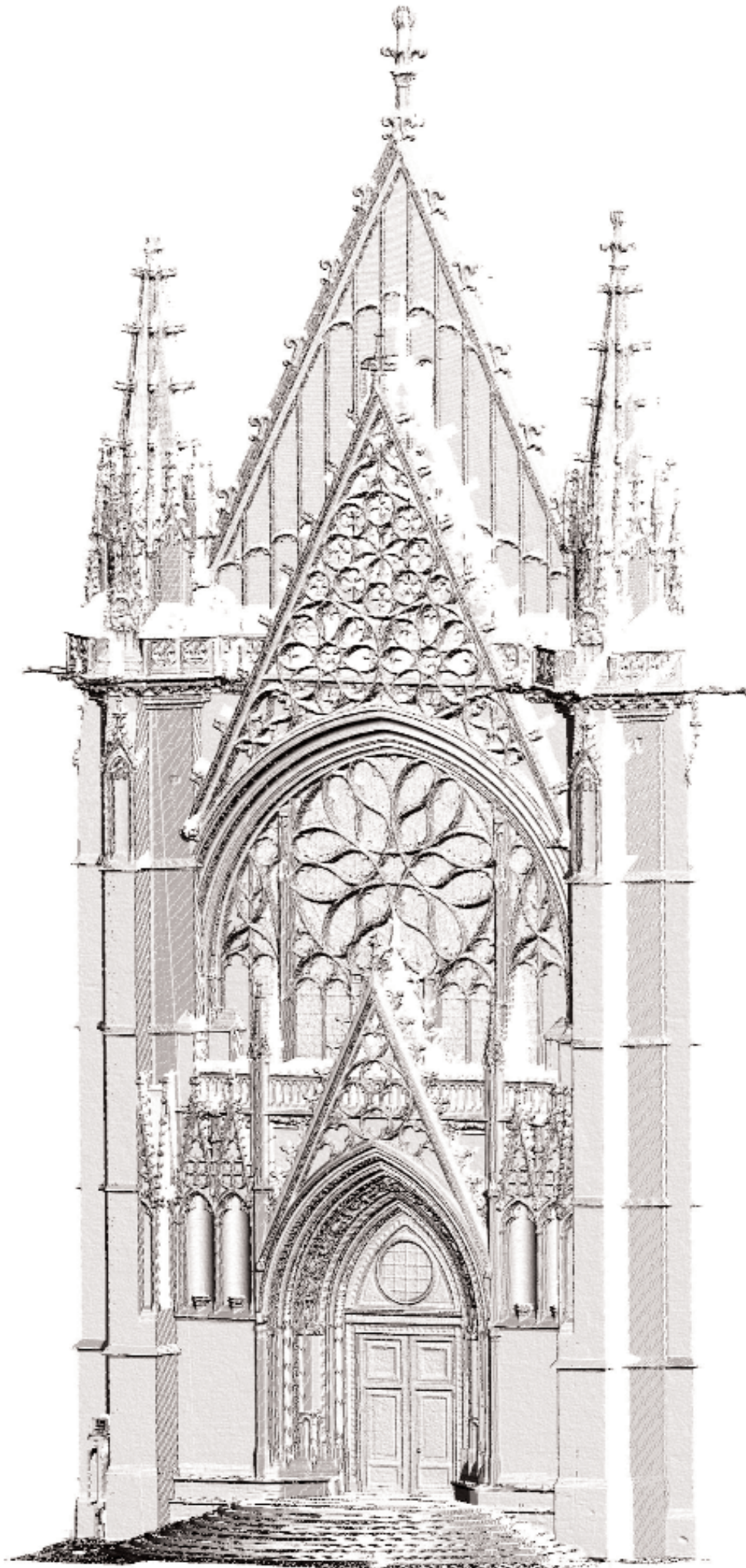
De manière générale, tous les ans, le Service de la recherche propose un certain nombre de sujets de stages et permet en outre à des étudiants de faire une thèse de doctorat à l'IGN. Au mois de mars, quelques sujets de thèse de doctorat sont proposés par l'IGN pour la rentrée suivante. Les thèses de doctorat durent trois ans et s'effectuent sous la forme d'un contrat de recherche (CDD de trois ans) dans des conditions semblables sur un plan financier à celles du ministère de la Recherche. L'IGN accueille actuellement sept doctorants sous ce régime.

À titre d'exemple, en 2005, quatre sujets étaient proposés : un en géodésie sur l'étude des séries temporelles colocalisées GPS et marégraphie, un en traitement d'images concernant la détection et la caractérisation de la végétation en milieu urbain et périurbain, deux sujets enfin en information géographique sur les modèles de révision de connaissances dans un processus de généralisation automatique à base d'agents et sur l'appariement de données spatiales par prise en compte de connaissances imprécises. L'accueil de post-doctorants est envisagé à brève échéance par l'IGN. La publicité de ces offres est faite sur le site <http://recherche.ign.fr> ■



La cafétéria et le grand hall séparant l'École nationale des sciences géographiques et l'École nationale des ponts et chaussées, à Marne-la-Vallée.





Nuage de 2 millions de points, acquis par numérisation laser terrestre (la sainte-chapelle du château de Vincennes).

