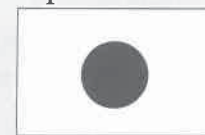


JAPON

surveillance tectonique

par GPS

s p é c i a l



J A P O N

par Gilbert FERHAT

Enseignant-chercheur à l'ENSAIS - Topographie

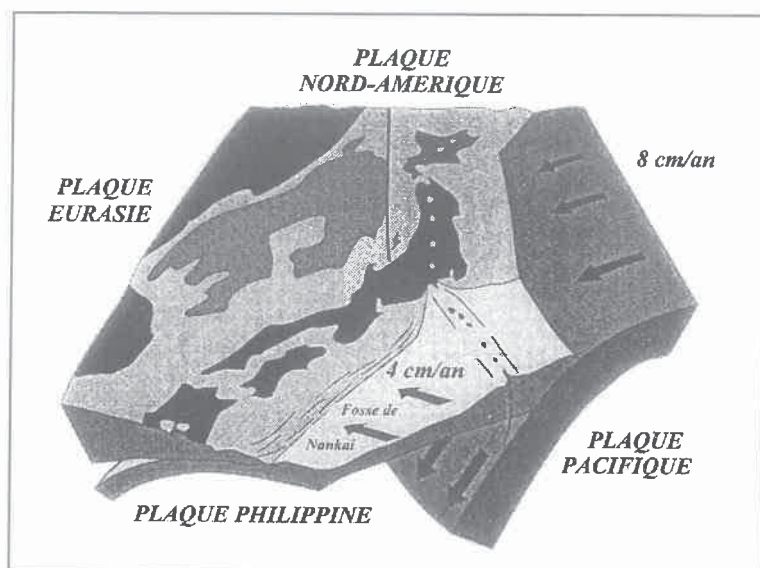


Fig. 1 - La tectonique du Japon (d'après Jolivet, 1995)

Tsukuba, ville située à 50 km de Tokyo. Cette rencontre intitulée GPS'99 était un symposium international sur le GPS avec des applications en sciences de la Terre et son interaction avec les autres techniques de géodésie spatiale.

L'article décrit quelques projets de géodésie auxquels l'auteur a participé au cours d'un séjour de recherche d'environ un an à l'institut de recherche sur les tremblements de terre de l'Université de Tokyo et au cours du symposium GPS'99.

Introduction

Le Japon est connu pour sa cuisine (les fameux *sushi*, *suki-yaki* et *sashimi* — plats de poissons crus —), ses combats de sumos (le sport national japonais) et ses nombreux temples, jardins et cerisiers en fleurs (*sakura*). À côté de ses curiosités nationales, l'archipel nippon est aussi connu pour ses hautes technologies, mais encore pour ses cataclysmes et désastres naturels (tremblements de terre, éruptions volcaniques, glissements de terrain, cyclones, *tsunamis* ou raz de marée). Le Japon subit plus de cinq mille secousses sismiques par an, dont certaines sont très destructrices comme celle Kobe en 1995. Par ailleurs, on recense plus de 250 volcans, le plus connu étant le mont Fuji, qui culmine à 3776 m. et une trentaine sont encore en activité.

Le Japon, fortement industrialisé est à la pointe dans de nombreux domaines et notamment en géodésie par GPS. En octobre 1999, un symposium sur le GPS a en effet été organisé à

calculée par l'ONU. La population se concentre essentiellement dans les plaines qui ne représentent qu'un faible pourcentage de la surface du pays; la forêt couvrant 68 % de la superficie totale du Japon.

Les activités en géodésie au Japon

L'activité GPS au niveau national peut se résumer à celle du *Geographical Survey Institute* (l'équivalent de notre IGN) qui a développé un gigantesque réseau GPS comptant à l'heure actuelle plus de 1000 stations GPS permanentes, le tout étant géré à Tsukuba, surnommée la cité de la science. En effet, cette ville regroupe plusieurs universités et 47 laboratoires de recherche d'état (la NASDA : l'agence spatiale japonaise, *Geological Survey Institute*, l'agence météorologique, NIED : l'institut national de recherche en sciences de la Terre et en prévention des désastres, *National Laboratory for High Energy Physics*,...) et de nombreux laboratoires privés.

On peut remarquer la présence au sein même du GSI d'une division dédiée à la recherche sur la déformation de la croûte terrestre (*Crustal Dynamics Department*, CDD). Ainsi les techniques de géodésie sont parfaitement maîtrisées et leur utilisation en géophysique l'est aussi. Si de tels moyens sont mis en œuvre c'est que l'on se trouve dans un pays où le risque sismique est élevé (nombreux séismes destructeurs et population importante). On compte près de 125 millions d'habitants, soit 332 hab/km², soit 8,5 fois la densité moyenne mondiale,

Les réseaux GPS au Japon, vers la naissance du réseau GEONET

Les réseaux régionaux GPS permanents dédiés à des applications scientifiques ont été établis en premier au Japon et en Californie il y a une dizaine d'années. Le CDD a réalisé ses premières campagnes de mesures GPS en 1987. Par la suite dans la zone d'une éruption volcanique sous-marine proche de la baie de Tokyo en 1989, trois sites ont été équipés de récepteurs GPS permanents. La technique GPS a été mise en application par la suite autour du volcan Unzen où des tremblements de terre, plusieurs éruptions et des coulées de laves se sont produites entre 1990 et 1994.

À l'issue de ces expériences GPS concluantes, un nouveau projet de réseau GPS vaste et dense a été proposé. Ce projet fut nommé COSMOS-G2, abréviation de *Continuous Strain Monitoring System with GPS by GSI* — système du GSI de mesure

continue de la déformation par GPS (Sagiya et al., 1995). Ce réseau couvre le sud du Kanto et du Tokai, deux régions autour de Tokyo où on attend un très gros tremblement de terre comme celui qui a détruit Tokyo en 1923 et qui a marqué le Japon.

L'élaboration de ce réseau a été conduite entre 1993 et 1994. En octobre 1994, COMOS-G2 est devenu opérationnel. Il consiste en un ensemble de 110 stations et une station de contrôle à Tsukuba. Ce réseau d'un maillage de 10/15 km est destiné à la surveillance si possible temps-réel de la déformation de la croûte associée aux séismes, aux éruptions volcaniques et aux interactions entre les différentes plaques tectoniques entrant en jeu dans la région (figure 1).

Le réseau national opérationnel depuis le 1^{er} octobre 1994 se nomme GRAPES (GPS Regional Array for Precise Surveying/Physical Earth Science). Les premiers résultats furent ceux de la mesure de la déformation cosismique et post-sismique de tremblements de terre (Miyazaki et al., 1996). En mars 1996, les deux réseaux COMOS-G2 et GRAPES ont été regroupés et comprenaient ainsi 610 stations. Le réseau GEONET venait de naître (GPS Earth Observation NETWORK). Un tel nombre de stations nécessite une gestion très particulière et des moyens importants, à cet effet, de nouveaux bâtiments ont été construits afin d'héberger le centre de calcul et de gestion des données GPS.



Fig. 2 - Récepteur GPS permanent monté sur un mât de 5 m (au premier plan) et antenne VLBI (en arrière plan), site de Tsukuba, région de Tokyo, Japon.

La matérialisation des points de ce réseau est réalisée par des piliers d'une hauteur de 5 mètres (figure 2), sauf en zone urbaine dense comme dans la plaine de Tokyo. L'ensemble de Tokyo et de ses villes périphériques — dont Yokohama — compte 30 millions de résidents en 1996, soit près d'un quart de la population totale du Japon ! Ainsi en zone urbaine dense, les antennes GPS sont disposées sur les toits de bâtiments afin d'assurer une bonne visibilité et une absence de masque. Les piliers sont implantés dans des dalles de béton de 2 m sur 2 m et sont censés résister à de vents violents pouvant atteindre 200 km/h. À l'intérieur de ces piliers sont placés les récepteurs de marque Trimble, Ashtech, Leica ou Allan Osborne Assoc., ainsi qu'un système de ventilation et de chauffage. Avec une cadence d'enregistrement de 30 secondes, chaque station génère un lot de données d'1 MB, le déchargement se fait par les lignes téléphoniques et nécessite environ 2 heures pour le transfert complet des données de tout le réseau. L'analyse des

données est réalisée à l'aide du logiciel de recherche Bernese développé à l'Université de Berne. D'autres logiciels de recherche sont installés et sont dédiés à des analyses spécifiques de jeux de données GPS (logiciels GAMIT, GIPSY). Pour la stratégie de ce calcul, le réseau est découpé en blocs d'une vingtaine de stations chacun. Deux calculs sont faits l'un avec les éphémérides radiodiffusées, l'autre avec les éphémérides précises de l'IGS (obtenues avec un délai de 15 jours). La précision optimale obtenue est de 10^{-8} (Miyazaki et al. 1998). Le stockage des données brutes et des principaux résultats (lignes des bases,...) est réalisé sur des disques optiques de 120 GB.

Il faut environ 8 à 10 heures de calcul pour traiter le lot de données des 1 000 stations à l'aide de sept serveurs HP-9000. Chaque machine possède 4 CPUs et 1 GB de mémoire. Depuis 1996, ce réseau a fortement évolué et comprend à l'heure actuelle 1 065 stations. L'analyse de ce lot de données a permis de constater quelques déficiences, notamment sur la stabilité de quelques stations et sur le mode de calcul à adopter (un biais vertical sur tout le réseau a été mis en évidence par Hatanaka et al., 1999) mais cette analyse a aussi permis de montrer clairement la déformation tectonique horizontale sur tout l'archipel du Japon, c'est-à-dire sur un pays de plus de 2200 km d'extension nord-sud (figure 3). À côté de ces opérations GPS gigantesques, les techniques traditionnelles ne sont pas mises aux oubliettes, ainsi la surveillance des déplacements verticaux est effectuée régulièrement par nivellement de précision (une à plusieurs fois par an).

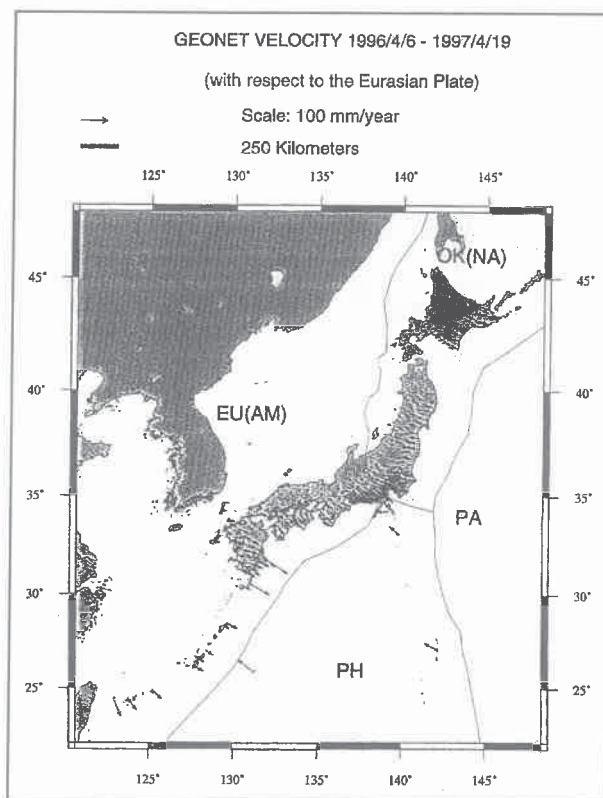


Fig. 3 - le réseau GPS du GSI. Les flèches représentent les vecteurs vitesses déduits sur la période avril 1996 - avril 1997 (Miyazaki et al., 1996)

Les travaux des universités japonaises, exemple de l'ERI

Les travaux nationaux sont, comme nous l'avons vu, titanesques, mais ce n'est pas tout, la plupart des universités ont mis en place leur propre réseau GPS à une échelle plus fine pour cartographier la déformation encore plus précisément.

C'est le genre d'études que mène l'ERI, the Earthquake Research Institute, Institut de recherche sur les tremblements de terre de l'Université de Tokyo. L'ERI s'intéresse plus particulièrement à la région qui entoure Tokyo. Deux études originales seront décrites dans la suite.

Ainsi, l'ERI a mis en place un réseau GPS d'observation continue autour de la région d'Izu. Cette région située à quelques kilomètres de Tokyo est le siège de mouvements tectoniques particuliers. En effet les baies proches de Tokyo sont le siège de remontées magmatiques (il y a eu une éruption volcanique sous-marine en 1989). L'idée ici est de cartographier le plus clairement possible les déplacements dus à l'activité sismique faible en essais observée et de remonter aux mécanismes géophysiques qui en sont la cause. Les chercheurs japonais ont montré que les petits séismes observés correspondaient à des remontées de magmas.

À l'ERI, j'ai été amené à m'intéresser à la mesure de la déformation tectonique de la région de Kanto-Tokai, sur le siècle dernier en utilisant des mesures géodésiques. La zone étudiée est située autour de Tokyo. Elle se compose de la région du Tokai, du Kanto et de la péninsule d'Izu (figure 4). Cette région occupe une position particulière dans les processus tectoniques de l'archipel japonais parce que différentes plaques tectoniques interagissent entre elles : la plaque Pacifique, la plaque océanique philippine et la plaque eurasiennne. La plaque océanique philippine passe sous l'Eurasie à environ 4 cm/an dans la direction NW, le plaque Pacifique passe sous des îles du Japon à un taux de 8 cm/an vers l'Ouest (figure 1).

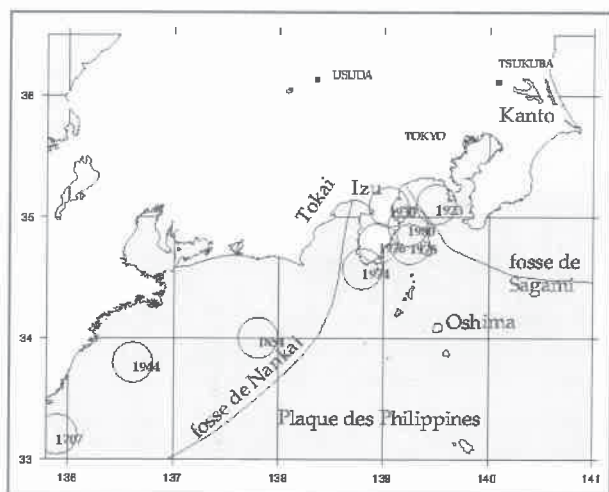


Fig. 4 - Schéma tectonique de la région de Tokyo et principaux séismes représentés par des cercles

J'ai analysé deux types de données géodésiques réalisées sur des sites mesurés au moins deux fois par triangulation ou GPS. Dans le Kanto, le GSI a installé depuis 1994 un réseau de GPS (environ 110 sites), comme ce réseau est énorme, j'ai choisi 17 sites GPS couvrant le Tokai-Kanto et la péninsule d'Izu et également 6 stations permanentes GPS du service international GPS. Les données GPS offrent une image précise de déformation mais ne donnent cependant pas l'évolution à long terme du processus tectonique, c'est pourquoi d'autres types de données géodésiques sont exigés. GSI a exécuté de nombreuses campagnes de triangulation et de trilatération durant le siècle dernier. Ces triangulations ont été réalisées en 1885, 1894, 1924, 1925, 1931, 1956, 1961 et 1973 sur 21 sites géodésiques.

En utilisant les triangulations de 1885-1984 et de 1924-1925-1931, nous pouvons tracer la déformation co-sismique due au grand tremblement de terre de Kanto en 1923 (magnitude 8) et au tremblement de terre de Kita-Izu en 1930

(magnitude 7 dans la péninsule d'Izu). Ainsi, on en déduit un déplacement horizontal d'environ 2 ou 3 mètres pour 7 sites relativement à deux sites (situés près de Tsukuba) considérés fixes dans l'inversion.

L'analyse des données GPS de 1994 en utilisant le logiciel de GAMIT/GLOBK m'a permis de montrer que (1) la convergence des plaques tectoniques se produit à une vitesse moyenne d'environ 2 cm/an relativement à la plaque eurasiennne, (2) les sites situés à l'est de Tokyo se déplacent vers l'est, direction correspondant à celle de la subduction de la plaque pacifique sous le Japon (3) les sites situés au sud-ouest de Tokyo se déplacent vers le NW, direction de la subduction de la plaque philippine sous le Japon, (4) le comportement est chaotique pour les sites situés dans la péninsule Izu et les îles autour d'Oshima (Ferhat et Kato, 1999).

Quelques mots sur le symposium GPS'99

Cette rencontre internationale a été l'occasion de voir les développements récents de nombreuses équipes. On a évidemment pu observer la forte présence des Japonais, d'asiatiques (Chine, Corée, Hong-Kong,...), européennes,... Quelques Français ont participé au symposium (Polynésie Française, LAREG-Marne la vallée, Géosciences/Azur-Nice, GRGS-Toulouse et ENSAIS-Strasbourg). Tous les continents étaient représentés, mais avec un nombre moins important de personnes venant d'Afrique. Par ailleurs, en raison du récent tremblement de terre en Turquie du 17 août 1999 de magnitude 6.7, des chercheurs turcs étaient là pour présenter des résultats sur ce séisme.

Le symposium était organisé en 14 sessions abordant de nombreux thèmes comme les réseaux GPS permanents, la météorologie utilisant le GPS, la déformation tectonique dans la région du Pacifique et de l'Asie, la tectonique de plaques globale ou régionale, le traitement des données GPS,...

De nombreux résultats et projets ont vu le jour grâce à l'ensemble ou une partie du réseau GEONET véritable élément moteur en tant que jeu de données couvrant des échelles temporelles (depuis 1996) et spatiales très grandes.

Outre les résultats géophysiques, ce colloque fut aussi l'occasion de voir des applications plus pratiques et relativement innovantes. Ces applications sont issues de projets visant à mettre au point des systèmes de mesures de la déformation et cela en temps quasi-réel, avec pour objectif final la mise en place de système d'alarme et d'alerte en cas de glissement de terrain en particulier.

Ainsi, le système LAMOS (LAndslide MOnitoring System, Petrovski et al., 1999) est un système de surveillance de glissement de terrain. Ce dernier met en œuvre trois ensembles de 4 antennes GPS, chaque antenne transmet ses données par l'intermédiaire de câble optique de 1000 m. à une station de contrôle qui analyse et traite les données.

Ce genre de thèmes va dans le sens de ceux que l'on a pu voir au cours du 9e colloque technique de la FIG sous groupe 6C, organisé en septembre 1999 en Pologne. FIG9 était axé sur la mesure de la déformation avec une interaction entre le monde de la métrologie et celui du génie civil, de la géotechnique.

De plus, on a pu découvrir une utilisation originale du GPS comme sismomètre. Il s'agit tout simplement d'un récepteur GPS enregistrant à cadence très élevée (20 Hz) les déplacements rapides du sol comme le ferait un sismomètre. L'expérience décrite consiste à monter sur le toit d'un camion-vibreux (qui sert à reproduire les vibrations engendrées par un

séisme) une antenne GPS et de disposer d'une autre antenne GPS plus loin, pour faire du positionnement relatif.

Conclusion

Cet aperçu sur les travaux au Japon n'est évidemment pas exhaustif. Les plus curieux pourront consulter les sites Web donnés en référence.

Par ce court article, on a vu que le Japon en matière d'activité GPS n'a rien à envier à d'autres pays. Le risque sismique étant très élevé, de nombreuses innovations aussi bien dans les domaines qui nous concernent (la géodésie) que dans le génie civil (constructions parasismiques) ont vu le jour. Souhaitons-lui et souhaitons-nous bonne année en japonais : *Akémashité omédéto gozaimasu*.

Quelques références

Pour plus d'informations sur GPS'99, consultez le site : <http://www.soc.nacsi.ac.jp/geodetic/gpssymp/>, sur le GSI : <http://www.gsi-mc.go.jp/>, sur le volcan Unzen <http://volcano.und.nodak.edu/vwdoc/volc-images/img-unzen2.html>

Ferhat, G., 2000, La tectonique du Japon vue par les mesures géodésiques, revue des Arts et Industries, Strasbourg, 6pp., en cours d'impression.

Ferhat, G. & T. Kato, 1999, Coseismic and interseismic tectonic deformation in the Kanto-Tokai region, *The International Symposium on GPS- Application to Earth Sciences and Interaction with Other Space Geodetic Techniques GPS'99*, Tsukuba, Japan, October 18-22.

Hatanaka, Y., M. Sawada, A. Horita & M. Kusaka, 1999, Calibration of antenna-radome-multipath effects of GEONET, part I : measurement of phase characteristics *The International*

Symposium on GPS- Application to Earth Sciences and Interaction with Other Space Geodetic Techniques GPS'99, Tsukuba, Japan, October 18-22.

Miyazaki S., H. Tsuji, Y. Hatanaka, Y. Abe, A. Yosimura, K. Kamada, K. Kobayashi, H. Morishita & Y. Imura, 1996, Establishment of the Nationwide GPS Array (GRAPES) and its initial results on the crustal deformation of Japan, *Bulletin of Geographical Institute*, Vol. 42, 27 - 41.

Miyazaki S., Y. Hatanaka, T. Tada & T. Sagiya, 1998, The nationwide GPS array as an Earth Observation System, *Bulletin of Geographical Institute*, Vol. 44.

Petrovski, I., S. Kawaguchi, H. Torimoto, M. Asado, T. Chachin & K. Okano, 1999, LAMOS-BOHSAI : Landslide Monitoring System Based On High-speed Sequential Analysis For Inclination. DX Antenna Co. Ltd, rapport interne.

Sagiya, T., A. Yoshimura, E. Iwata, K. Abe, I. Kimura, K. Uemura & T. Tada, 1995, Establishment of permanent GPS observations network and crustal deformation monitoring in the Southern Kanto and Tokai areas, *Bulletin of Geographical Institute*, Vol. 41, 105 - 118.

Remerciements

L'auteur tient à remercier le Professeur T. Kato de l'institut de recherche sur les tremblements de terre de l'université de Tokyo, ainsi que Dr Miyazaki et Dr Sagiya du GSI. Cette étude n'aurait pu être réalisée sans la bourse du gouvernement japonais, un grand merci au *Japanese Society of Promotion of Science* et au GSI qui m'a fourni gracieusement les données GPS et de triangulation de la région du Tokai-Kanto.

ENSAIS - 24 boulevard de la Victoire - 67084 Strasbourg.

E-mail : gilbert.ferhat@ensais.u-strasbg.fr

http://www-ensais.u-strasbg.fr/filière_Topographie

SIG - CONCEPTS ET APPLICATIONS PRATIQUES
du 2 au 3 mars 2000
3 000 F - 457,35 €

UTILISATION DES SYSTÈMES DE COORDONNÉES DANS LES SIG
du 6 au 7 mars 2000
3 400 F - 518,33 €


INTÉGRATION DES DONNÉES GPS DANS LES SIG
le 9 mars 2000
1 800 F - 274,41 €

PRATIQUE DU GPS EN GÉODÉSIE ET TOPOMÉTRIE
du 13 au 17 mars 2000
9 000 F - 1 372,04 €

RÉSEAUX GPS PERMANENTS L'IGS ET LE RGP
le 28 mars 2000
1 500 F - 228,67 €


ÉCOLE NATIONALE DES SCIENCES GÉOGRAPHIQUES

Nous formons vos équipes dans les techniques de l'information géographique



Centre de Formation Permanente

Cité Descartes - Champs-sur-Marne
77455 Marne-la-Vallée Cedex 2
Tél : (33) 1 64 15 31 20 - Fax : (33) 1 64 15 31 27
Mel : Cfp@ensgign.fr
Internet : <http://www.ensgign.fr>



BPE - ENSG / IGR