Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 95 (1997)

Heft: 7

Artikel: Surveillance tectonique par GPS : application au volcan Pacaya, Guatemala

Autor: Melo, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-235358

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 26.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Surveillance tectonique par GPS: application au volcan Pacaya, Guatemala

Le but de ce travail est d'établir un schéma de mesure par la technique satellitaire GPS (Global Positioning System) pour la surveillance tectonique des volcans. Il est nécessaire pour cela de choisir la position et le nombre de points de mesure et d'évaluer la quantité de mesures nécessaire pour mettre en évidence les mouvements du volcan. Après un tour d'horizon de la technique proprement dite, l'application pratique est traitée dans le rapport sous forme d'exemples et de conseils, particulièrement pour la disposition des stations, les traitements topométriques et le temps de mesure. Dans cet article, l'accent est porté sur les ordres de grandeurs en jeu, les préparatifs de la campagne ainsi que l'établissement d'une synthèse des résultats et des conseils résultant de cette expérience.

Die vorliegende Diplomarbeit verfolgt zwei Ziele: die Ausarbeitung einer Messanordnung zur Überwachung tektonischer Phänomene von Vulkanen mittels GPS sowie die Festlegung der Anzahl notwendiger Messungen für eine genügend genaue Positionsbestimmung. Nach einem einleitenden Überblick über die angewandte Technik, behandelt der Bericht deren praktische Anwendung in Form von Beispielen und Ratschlägen, im besonderen bezüglich der Auswahl der Punkte, der Beobachtungszeit sowie der möglichen vermessungstechnischen Auswertung der Messungen. Der nachfolgende Artikel umreisst die Grössenordnungen des Problems, beschreibt die Vorbereitungen der Messkampagne und fasst deren Resultate sowie die gesammelten Erfahrungen zusammen.

Lo scopo di questo lavoro di diploma consiste nel definire uno schema di misura con la tecnica satellitare GPS per la sorveglianza tettonica dei vulcani. Bisogna scegliere la posizione e il numero dei punti di misura, nonché valutare il numero delle misure necessarie per mettere in evidenza i movimenti del vulcano. Dopo un'introduzione generale sulla tecnica impiegata, il rapporto presenta l'applicazione pratica, con esempi e consigli, specialmente in merito alla disposizione delle stazioni, ai trattamenti topometrici e ai tempi di misura. L'articolo descrive in particolare gli ordini di grandezza della problematica, i preparativi delle operazioni di misura e riassume i risultati e le esperienze fatte.

A. Melo

Introduction

Le projet porte sur la surveillance tectonique au moyen du système de positionnement global appliqué aux déformations du volcan Pacaya au Guatemala – situé à 30 km au sud de la capitale. Mis au point avec l'Institut de Géomatique et l'Institut de Physique Expérimentale de l'EPFL, ce travail s'intègre au projet EAVEG (étude de l'aménagement volcanique au Guatemala) mené par le prof. J.-J. Wagner de l'Université de Genève, pour le corps suisse d'aide en cas de catastrophe. Le diplôme a en outre été mené en collaboration avec H. Bovy; il s'est principalement intéressé à l'interprétation géophysique du champ de déformation tectonique et aux problèmes techniques d'acquisition des données GPS [1].

Sur place, l'INSIVUMEH (institut national de sismologie, vulcanologie, météorologie et hydrologie), le CONE (comité d'organisation national des situations d'urgence) et l'IGN (institut géographique national) ont collaboré pour nous apporter le soutien dont nous avions besoin.

Les buts poursuivis dans ce travail sont:

1. l'observation des mouvements tectoniques du volcan;
2. l'établissement d'un mode et d'un temps de mesure adéquats pour un système qui doit donner l'alarme au cas où une éruption semble imminente.

À travers cette expérience, trois volets d'intérêt se dégagent.

Le Guatemala, captivant à plus d'un titre: travailler dans un pays en voie de développement; réaliser des échanges dans une langue étrangère (l'espagnol) avec les collaborateurs; conduire une petite équipe de sept personnes, dont quatre soldats pour notre sécurité et celle du matériel, etc.

La collaboration scientifique: celle entreprise avec les guatémaltèques, mais aussi celle engagée en pluridisciplinarité avec les divers partenaires suisses, particulièrement avec le co-diplômant.

La réalisation technique divisée en trois parties:

- les préparatifs, en Suisse, d'une durée d'un mois, qui comportent la préparation de la campagne (recherche de bourse, de matériels, notamment informatique, logement, etc.), l'élaboration de deux tests (grandeur de l'excentricité du centre de phase, temps de mesure optimum) et la construction des supports d'antenne (voir figure 2);
- le travail de deux mois au Guatemala. Durant cette période, nous avons construit des bornes pour matérialiser les points, puis réalisé les mesures par GPS;
- l'analyse et le traitement des données initiés au Guatemala et achevés en Suisse.

Les paragraphes qui suivent sont plus spécifiquement dédiés à ce dernier volet.

Mouvements à observer

Les transferts importants de gaz et de magma engendrent des déformations élastiques de la surface semblables à celles d'un ballon continuellement gonflé et dégonflé.

L'ordre de grandeur de la déformation tectonique sur un volcan est différent si:

- l'éruption est survenue ou imminente;
- aucune éruption n'est prévisible (par exemple par le biais de la méthode sismique).

Dans le premier cas, des déplacements de plus de 10 cm sur quelques jours sont possibles (voire plus dans certains cas, le volcan Pinatubo par exemple); dans le second cas, les mouvements varient généralement entre un millimètre et quelques centimètres sur une année.

Les moyens de mesures géodésiques aident à mieux évaluer les déformations. Les niveaux, les théodolites, les distancemètres ou les tiltmètres peuvent être utilisés, mais depuis l'avènement d'une géodésie spatiale précise et simple dans son utilisation, d'autres systèmes se sont imposés: le système de mesure DORIS [2], l'interférométrie radar [3] ou le système GPS.

Dans un projet de surveillance, les mouvements minimaux que l'on veut détecter sont fixés a priori. Ils correspondent à la tolérance que le système de mesure mis en place doit satisfaire. La précision de la mesure est ensuite adaptée en conséquence (environ deux à trois fois plus petite que la tolérance). Nous n'avons pas dérogé à la règle; après discussions avec les différents partenaires en Suisse, nous nous sommes intéressés à des déplacements de l'ordre du centimètre et à une précision de mesure inférieure au demi-centimètre.

Étant donné que les points mesurés se déplacent, il est difficile de distinguer rigoureusement la part des erreurs instrumentales de celle des déplacements, lorsque ces derniers sont faibles. Pour cela les différentes sources d'erreurs doivent être examinées et si possible éliminées.

Les erreurs d'orbites

Pour une précision millimétrique, l'orbite du satellite doit être déterminée à moins de 2 mètres pour des lignes de bases de 10 km (ordre de grandeur de la base du volcan). Une position au niveau de précision cherché justifie l'emploi des éphémérides précises – mises gratuitement à disposition par exemple par le serveur informatique de l'université de Berne – ceci pour autant que le travail ne soit pas alourdi. Toutefois si le résultat doit être immédiat, l'utilisation des paramètres transmis par les satellites (broadcasts), directement traité par le logiciel, est nécessaire.

Les erreurs atmosphériques

Les erreurs de mesures sur les lignes de base sont principalement dues aux changements de conditions atmosphériques. Plusieurs solutions géodésiques ont été envisagées pour réduire ces effets: par exemple, l'utilisation des mesures d'une base connue et fixe. La mesure de cette dernière doit se situer dans la même région que les autres mesures et être effectuée durant la même période. De cette façon, les corrections déterminées pour la base fixe peuvent s'appliquer de manière proportionnelle aux autres vecteurs mesurés simultanément. Les résidus observés indiquent alors principalement la grandeur de la déformation tectonique.

La réverbération

Un éloignement de toutes surfaces réfléchissantes et une surélévation de l'antenne par rapport au sol permettent de négliger les erreurs de réverbération (multitrajet) [4].

Les erreurs de centre de phase

Les antennes testées ont montré une excentricité du centre de phase – différence entre le centre géométrique et le centre de réception électrique du signal – de même grandeur. L'orientation planimétrique est aussi approximativement la même. En orientant à chaque mesure les antennes dans la même direction, on limite les erreurs d'excentricité [5]. Il subsiste cependant un risque d'erreur dû à la variation de l'excentricité du centre de phase selon la constellation des satellites, le champ magnétique ou les conditions météorologiques.

Les erreurs instrumentales

Finalement les erreurs liées directement aux récepteurs ont été négligées, car inférieures au mm [6].

Préparatifs

Ils englobent la réalisation précédant les mesures et ont pour but de:

1. prévoir les problèmes inhérents au terrain.
2. minimiser les erreurs de mesure.

La préparation de la campagne s'est déroulée en plusieurs étapes.

La première étape a consisté à choisir à l'aide d'une carte les stations de mesure (voir figure 1), en fonction des trois récepteurs mis à disposition et des conditions connues (accès, représentativité de la structure, ...).

À partir de la localisation des points, les obstructions ont ensuite été calculées sur la base d'un almanach récent et d'un modèle numérique de terrain, afin de déterminer quelles étaient les périodes défavorables pour les mesures.

Finalement, la méthodologie de mesures a été choisie.

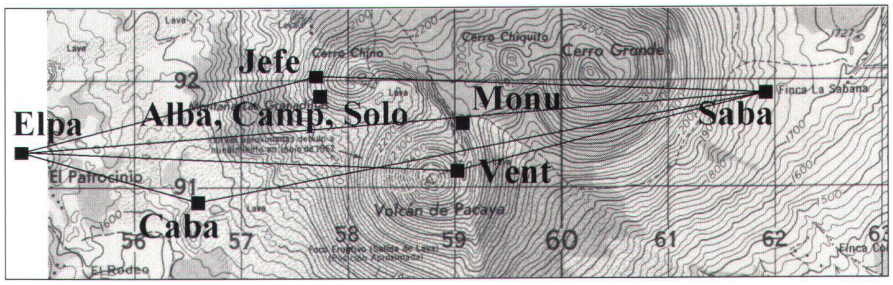


Fig. 1: Disposition des stations prévues autour du volcan (liés par les lignes de bases). Les stations de référence, accessibles en voiture, sont situées à l'est et à l'ouest du cratère. L'une est située dans le village de El Patrocinio, l'autre proche de la «Finca» La Sabana.

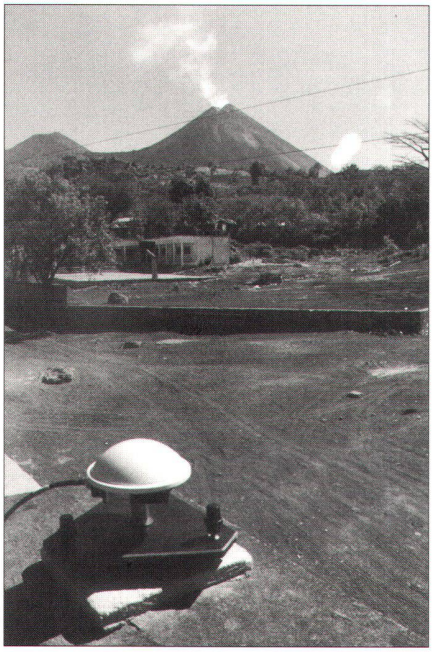


Fig. 2: Photo prise depuis le village de El Patrocinio. L'antenne et son support, en bordure d'un toit, apparaissent en premier plan. En arrière-plan, on aperçoit le volcan.

Dans le but d'atteindre la précision exigée, nous avons construit des supports d'antenne (voir la figure 2) simples d'utilisation, stables et facilement transportables. Ils permettent de centrer les antennes de façon précise sur le même point d'une session à l'autre.

Les piliers – construits pour l'occasion – matérialisant les points doivent également respecter des conditions de simplicité, tant au niveau constructif qu'au niveau du transport des matériaux sur le volcan. Le dimensionnement adopté répond à ces contraintes, tout en permettant l'utilisation d'autres moyens de mesures que GPS (mesures géodésiques terrestres notamment). Pour une utilisation à long terme des piliers, il est souhaitable de contrôler également les glissements de terrain (possibles par exemple lors de fortes pluies). Des points stables (extrusion de roche basaltique) existent sur le volcan; mais au fur et à mesure que l'on se rapproche du cratère, ces lieux deviennent de plus en plus rares et difficiles d'accès. En plaçant des réflecteurs sur ces surfaces, il est envisageable de compléter les mesures GPS par des mesures terrestres pour des prédictions plus larges.

Mesures et analyse

Dès notre arrivée au Guatemala, une éruption semblait imminente. Les déplacements engendrés dans ces cas [7] sont normalement tels que la réalisation des mesures nécessitait moins de précision.

Dans cette optique et pour établir un lien entre l'observation et les modèles théoriques de la géophysique, nous avons adapté la méthodologie des mesures: nombre de points plus grand, comparaison directe de la différence entre deux vecteurs mesurés à des moments différents plutôt que par comparaison de valeurs compensées. Trois stations supplémentaires à celles prévues, relevées alors depuis Jefe, ont été construites sur le flanc ouest du volcan (voir figure 1); Monu étant une station existante.

Quelques erreurs de manipulation lors des mesures ne nous ont pas permis d'obtenir suffisamment de données pour rendre significatives les différences entre les mesures. La modification de la méthodologie, effectuée sous l'imminence de l'éruption prévue, a ainsi été inadaptée aux déplacements effectifs, de l'ordre du centimètre.

Toutefois sur une période de 1 mois et grâce à des contrôles rigoureux (test FARA de bonne qualité, lignes de base contrôlées entre elles, test d'homogénéité) nous avons pu mettre en évidence un déplacement pour chaque station avec une précision légèrement inférieure au centimètre.

La figure 3 explicite ces résultats; les ellipses d'erreur à 39% (optimistes!) proviennent de la compensation des mesures de deux journées.

Les mesures effectuées et le dispositif installé (piliers) serviront de référence pour comparer les mesures des futures campagnes.

Les déformations sont séparées en deux composantes: des mouvements tectoniques rapides de grandeur faible (engendrées par des petites explosions ou par des migrations de magma) et des mouvements de déformation d'amplitude plus grande mais plus lentes dues au remplissage en magma profond de la chambre magmatique.

Ces deux types de comportements nécessitent deux types de mesure des déformations:

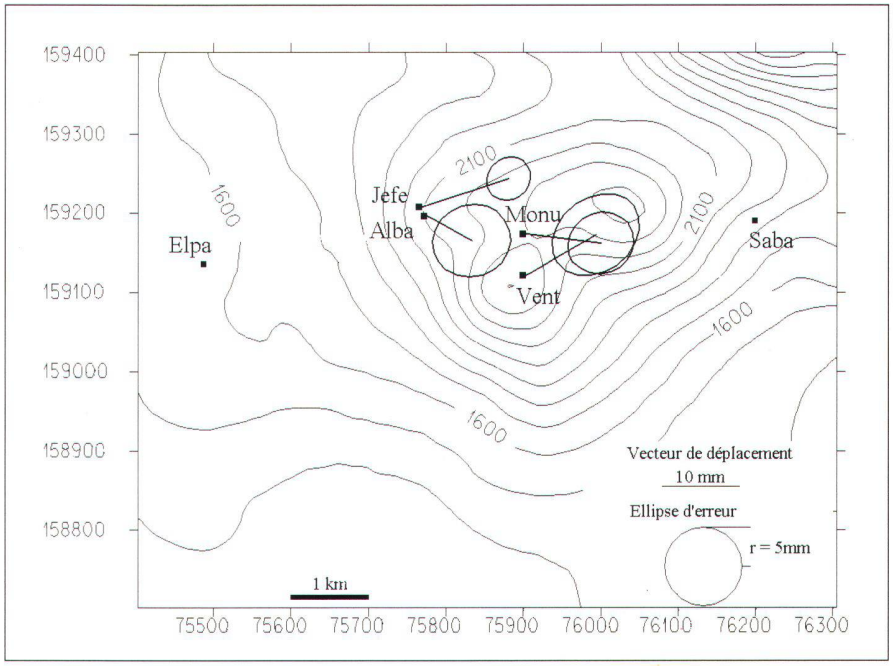


Fig. 3: Vecteurs de déplacements observés.

1. des mesures fréquentes sur quelques stations pour les mouvements rapides;
2. la mesure plus espacée dans le temps d'un réseau plus large dans l'espace pour obtenir des indications sur la profondeur et les variations de volume de la source de pression.

Synthèse

Le problème principal rencontré a été d'adapter le nombre de récepteurs, la méthodologie et la fréquence des mesures aux besoins, notamment en terme de précision. Afin de couvrir le spectre de besoins le plus large possible, l'usage de quatre voire cinq récepteurs, plutôt que trois est conseillé; surtout, et c'est l'essentiel du message, il importe d'effectuer un grand nombre de sessions selon un schéma identique, pour garantir la fiabilité du résultat en même temps que sa précision. Le temps utile de mesures établi se situe entre 80 et 90 époques séparées par un pas de temps de 20 ou 30 secondes. La mise en place d'un réseau commandé à distance permettrait, en outre, d'effectuer des mesures de façon plus fréquente et bien plus aisée. Cette situation implique pour les responsables du projet la formation de personnes capables d'utiliser correctement GPS et un soutien logistique plus conséquent; si tant est que la première proposition soit souhaitée par les responsables locaux et que la seconde soit réalisable dans les conditions de sécurité du moment.

Conclusion

La technique GPS s'intègre à la prévision d'éruptions à plusieurs échelles de temps; mais la mesure géodésique des déplacements tectoniques doit s'insérer dans une approche pluridisciplinaire forte pour permettre une meilleure prévention des risques.

Bibliographie:

[1] Bovy H. (1997): Observation et interprétation du champ de déformation du volcan Pacaya (Guatemala) par méthode GPS, travail pratique de diplôme EPFL, Département de Physique.

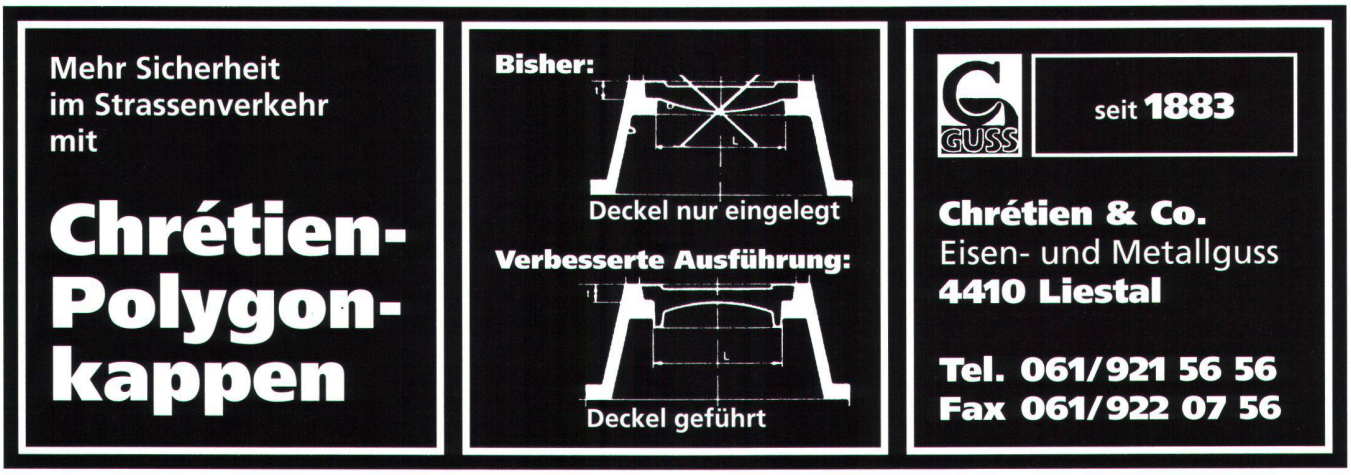
[2] Cazenave A. et Feigl K. (1994): Formes et mouvements de la terre. Coll. Croisée des sciences, éd. CNRS / BELIN.

[3] Poix P. (1996): Les volcans en garde à vue. Science et vie, 941, p. 48–51.

[4] Arbour B. (1994): Etude des effets du multitrajet sur le positionnement GPS avec les mesures de phase des ondes porteuses, Centre de recherche en géomatique, Université LAVAL.

[5] Geiger A. (1990): Influence des variations du centre de phase sur la combinaison des différents types d'antennes. GPS'90 / SPG'90.

[6] Bourassa M. (1994): Etude de la variation des centres de phases des antennes GPS. Centre de recherche en géomatique, Université Laval.

[7] Mogi K. (1958): Relation between the eruptions of various volcanoes and the deformations of the ground surfaces around them. Bulletin of the Earthquake Research Institute, vol. 36, p. 99–134.

Antoine Melo
Contrat-social 5
CH-1203 Genève