

DEVELOPPEMENT D'UNE METHODOLOGIE DE TRAITEMENT GPS CINEMATIQUE EN MER POUR LES BESOINS DE LA GEOPHYSIQUE

Société d'accueil : LAREG
PFE présenté par : Delphine GUILLON
Directrice du PFE : Marie-Noëlle BOUIN
Correcteurs : M. FERHAT et M. BONNEFOND



1. Contexte de l'étude

La géodésie en fond de mer s'intéresse aux mouvements horizontaux et verticaux de la tectonique des plaques. Cependant, les mouvements aux frontières des plaques océaniques restent encore très peu connus. Ce projet de fin d'études intervient au sein d'une étude de géodésie en fond de mer en partenariat avec le Laboratoire de Recherche En Géodésie de l'IGN (LAREG) et Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) afin de quantifier les déformations verticales intra-plaques océaniques principalement sur deux sites riches en activités géodynamiques, sismiques et bathymétriques : l'archipel du Vanuatu au Sud-Ouest du Pacifique et le volcan immergé Lucky Strike au large des Açores.

A cet effet, les chercheurs du LAREG et de l'IPGP ont mis en place un dispositif instrumental alliant conjointement mesures de pression, mesures GPS (bateau et bouée) et mesures altimétriques des satellites (cf. figure 1.1). L'altimétrie satellitaire fournit une surface moyenne de la mer dont la résolution s'avère insuffisante pour les zones d'études éloignées de la trace des satellites. C'est pourquoi, il convient d'avoir recours à une autre technique de mesure, capable de déterminer la hauteur de la surface de la mer : la technique GPS cinématique. Le GPS est une technique complémentaire à l'altimétrie satellitaire dans le temps et l'espace. En effet, le GPS permet d'obtenir une mesure à une date et en un lieu précis. Il présente un intérêt particulier dans cette campagne notamment pour la mesure de hauteur entre les traces des satellites et l'observation d'un gradient de surface moyenne.

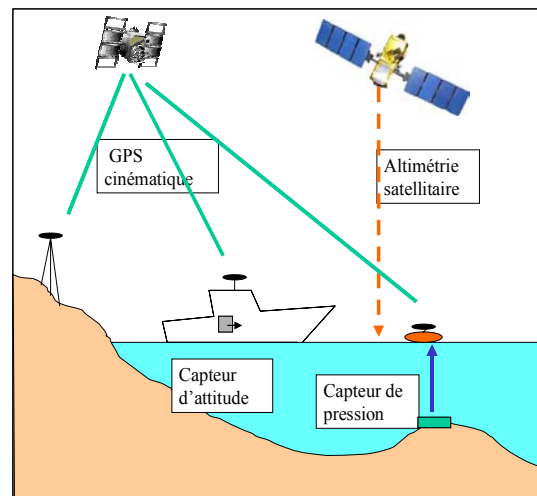


Figure 1.1 : Système de mesures (CNES)

Ce projet fait donc appel à l'étude de mouvements marins verticaux par la détermination de la hauteur des fonds marins qui doit être caractérisée par une grandeur physique dans un référentiel connu. L'objectif scientifique de cette étude vise à déterminer la hauteur de la surface de la mer mesurée par rapport à un ellipsoïde de référence propre au système de mesure choisi.

L'objectif de ce projet de fin d'études repose sur le développement d'une méthodologie de traitement GPS cinématique propre au milieu marin pour les besoins de la géophysique. Ce travail permettra de traiter intégralement les observations GPS cinématiques en mer acquises précédemment et dans le futur. Ce travail nécessite d'adopter une démarche particulière suivant la zone étudiée, le mode d'acquisition des données et les conditions de lever.

2. L'archipel du Vanuatu

L'Archipel du Vanuatu fait partie de l'anneau de feu du Pacifique, zone de convergence entre la plaque Australienne et le bassin Nord-Fidjien (cf. figure 2.1). Cette zone très active sismiquement et très volcanique offre ainsi une particularité en terme de modélisation des mouvements relatifs en limite de plaque dans une zone de subduction bloquée. Les mouvements verticaux sont particulièrement forts de l'ordre d'un centimètre par an.

Ce projet se penche particulièrement sur l'étude des mouvements verticaux entre les deux plaques. A cet effet, deux marégraphes ont été installés sur des hauts-fonds sur deux plaques distinctes : Banc Wusi et Banc Sabine. Un marégraphe a également été placé provisoirement dans la baie de Sarami en zone calme près des côtes dans un but de calibrer l'instrument (cf. figure 2.2).

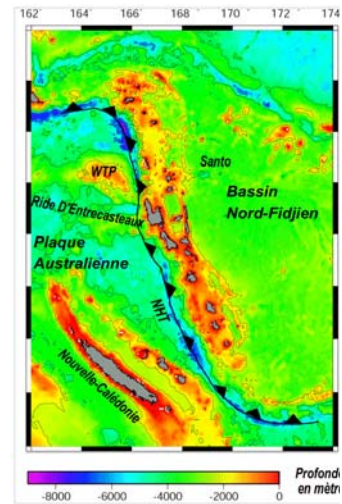


Figure 2.1 : L'archipel du Vanuatu

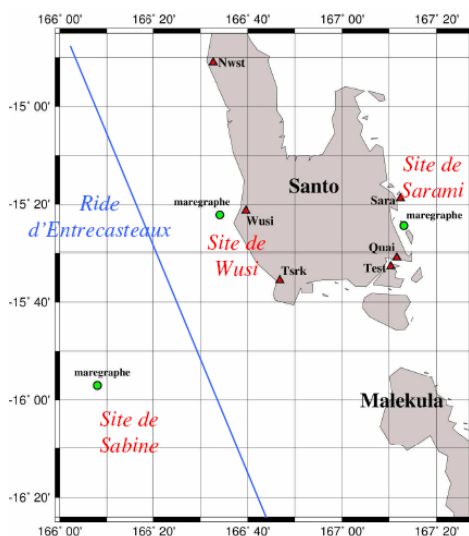


Figure 2.2 : Localisation des stations (rouge) et des marégraphes (vert)

Cette campagne a fait l'objet de plusieurs mesures variées :

- **Mesures marines** : elles donnent des mesures de pression pour en déduire les profondeurs mesurées par le marégraphe c'est-à-dire la distance entre le fond marin et la surface de l'eau.
- **Mesures GPS** : elles fournissent les hauteurs de la surface de la mer mesurées par GPS, acquises sur une bouée et/ou un bateau. Les mesures GPS ont été enregistrées du jour GPS 052 à 061 de l'année 2006. Le réseau GPS à terre compte six stations fixes.
- **Mesures altimétriques des satellites** : elles permettent de définir la surface moyenne de la mer très « lissée » à partir du satellite Topex / Poséidon.

Il faut donc traiter les données GPS suivant leurs conditions de lever afin d'obtenir la hauteur de la surface de l'eau sur les sites de Sabine et de Wusi. Le cœur de ce travail repose ainsi sur la mise en place d'une méthodologie de traitement GPS cinématique en mer.

La première partie de ce projet a d'abord consisté à étudier les travaux existants afin de mieux appréhender la géodésie en fond de mer. Ensuite, les données GPS ont été traitées en mode cinématique à l'aide du logiciel Track. Après l'optimisation du post-traitement, ces résultats GPS ont été corrigés des erreurs liées au milieu marin, et, enfin, évalués afin d'obtenir la qualité des résultats et générer une carte des hauteurs de la surface moyenne de la mer.

2.1 L'optimisation du traitement GPS

Un des premiers objectifs de ce projet est de définir les paramètres de calculs appropriés suivant le logiciel utilisé afin d'optimiser le traitement GPS et d'obtenir la hauteur de la mer. Certaines données ont déjà été traitées en mode différentiel mais ces résultats doivent être recalculés en prenant en compte le bilan d'erreurs et les conditions de lever.

Ce travail s'intéresse particulièrement au traitement des données GPS en mode cinématique. Avant toute exploitation des résultats, il s'avère nécessaire de présenter le déroulement de l'acquisition des données. Le niveau de la mer a été mesuré par GPS à l'aide d'une bouée et d'un récepteur bi-fréquence monté sur un bateau (l'Alis). Le récepteur sur le bateau a permis d'acquérir des mesures GPS en mer, de cartographier certaines zones et de suivre la trace des satellites, grâce à six stations fixes installées pour la durée de la campagne sur l'île de Santo (cf. figure 2.2).

Ce travail a consisté à tester différents paramètres intervenant dans un traitement GPS cinématique en mer dans la zone du Vanuatu. L'ensemble des données a été traité avec Track, logiciel libre avec des paramètres exhaustifs : il est ainsi préférable que l'utilisateur prenne en compte les conditions de lever et fasse appel à son expérience.

D'après les tests réalisés, il est nécessaire de réaliser à la fois une analyse qualitative et quantitative (incertitudes formelles) des résultats afin de retenir la solution optimale. Enfin, des indicateurs de qualité tels que le PDOP et la vitesse du bateau permettent d'expliquer l'origine de certaines variations sur l'écart-type des hauteurs. Ces tests ont également soulevé les limites du traitement cinématique dans cette étude, liées à la longueur de la ligne de base et aux conditions de mer particulières.

A l'issue de ce calcul, les résultats obtenus font référence à des hauteurs non corrigées de la surface d'eau. Il reste maintenant à appliquer des corrections spécifiques au lever en mer (marée, mouvement du bateau, hauteur d'antenne) sur les hauteurs d'eau afin d'obtenir la hauteur de la surface moyenne de la mer.

2.2 Corrections des données

Ce travail intervient à la suite d'un projet de fin d'études à l'INSA de Strasbourg, réalisé par Rémy Bouillaguet en 2006, sur la précision et l'exactitude des données GPS. L'application des corrections telles que la marée, les mouvements du bateau et la hauteur d'antenne du bateau et de la bouée, ainsi qu'un filtrage a permis de s'affranchir des irrégularités de la mer et d'obtenir la hauteur de la surface moyenne de la mer.

2.3 Contrôle des résultats

L'évaluation des résultats et des paramètres retenus passe par l'estimation systématique de la qualité des résultats obtenus. Ce contrôle permet de comparer les résultats par rapport à l'altimétrie satellitaire (carte de la surface de la mer générée avec les mesures altimétriques de Topex/Poséidon).

Ce contrôle des résultats a mis en évidence des disparités selon la zone géographique, les conditions de mer, et la vitesse du bateau dans laquelle intervient l'effet d'enfoncement du bateau (squat). Il apparaît également une erreur d'interpolation de l'altimétrie satellitaire autour du marégraphe de Wusi à partir d'un rayon de 5 km. Cette analyse démontre manifestement l'intérêt de la mesure du niveau moyen de la mer par GPS notamment au-dessus du marégraphe de Wusi. Enfin, l'étude des points de croisement fournit un ordre de grandeur pour la précision attendue sur chaque zone, soit 29,5 cm sur Wusi, et 33,0 cm sur Sabine.

2.4 Résultats finaux :

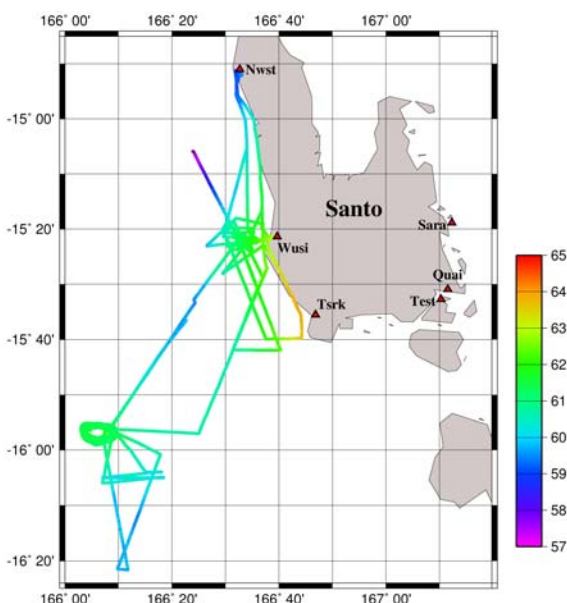


Figure 2.3 : carte des hauteurs de la mer (m)

2.5 Conclusion

Cette étude s'intéresse particulièrement à trois sites sur la zone du Vanuatu avec des caractéristiques géodynamiques particulières en vue de modéliser les mouvements verticaux entre la plaque Australienne et le bassin Nord-Fidjien.

La détermination de la hauteur du plancher océanique fait appel à la fois à des travaux géophysiques et géodésiques. Cette partie a traité l'ensemble de l'aspect géodésique : la mise en place d'une méthodologie de traitement GPS cinématique en mer a non seulement permis d'estimer le niveau moyen des mers par rapport au WGS84 et de calculer le gradient de surface moyenne océanique, mais aussi de rattacher les mesures de pression à un ellipsoïde de référence.

Ces résultats seront transmis à Valérie Ballu, responsable de la partie géophysique, afin de calculer la hauteur du fond marin au niveau de la position des marégraphes sur les sites de Sabine, Wusi et Sarami en déduisant la profondeur calculée par les marégraphes à la hauteur de la surface moyenne de la mer au-dessus des marégraphes.

3. Le volcan Lucky Strike au large des Açores

La deuxième partie de ce projet de fin d'études s'articule autour d'une autre campagne de géodésie en fond de mer réalisée aux Açores sur la dorsale médio atlantique (Graviluck 2006) La campagne GRAVILUCK s'inscrit dans le cadre du programme MoMAR (*Monitoring the Mid Atlantic Ridge*), projet international pour le suivi temporel des systèmes hydrothermaux de la dorsale Médio-Atlantique près des Açores, en adoptant une stratégie pluridisciplinaire (géodésie, géophysique, géologie, océanographie, microbiologie).

Elle s'intéresse principalement à l'étude de la structure de la croûte océanique et de sa dynamique. En effet, la zone MoMAR est située à la frontière entre deux plaques divergentes, les plaques Amérique-Europe, au Sud de l'archipel des Açores (cf. figure 3.1). Elles s'écartent à moins de 2 cm/an de part de d'autre de la dorsale Médio-Atlantique.

L'objectif principal de la campagne GRAVILUCK est la mesure des mouvements verticaux du plancher océanique (1700 m de profondeur) liés à l'activité magmatique et tectonique qui affectent le volcan central de Lucky Strike et le mur Est de la vallée axiale.

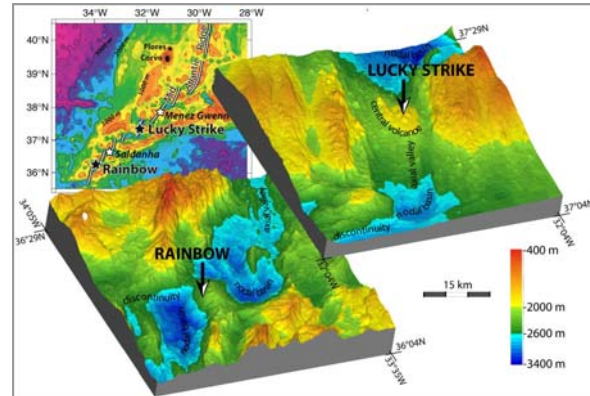


Figure 3.1 : Carte bathymétrique de la dorsale médio-Atlantique, au large des Açores, montrant la localisation des sites hydrothermaux de cette région : Menez Gwen, Lucky Strike et Rainbow (source : CNRS/IPGP)

Cette étude suit la même démarche que la campagne GEODEVA de par des mesures de pression en fond de mer sur deux sites, l'un en zone active, l'autre en zone supposée stable qui sert de référence. La particularité de cette campagne repose sur l'enregistrement répété de mesures de pression et de microgravimétrie d'un réseau de repères géodésiques qui permettent de détecter des mouvements verticaux et des variations du champ de pesanteur. A ces mesures de pression s'ajoutent les mesures GPS afin de rattacher les mesures à un système de référence.

La problématique générale reste identique à celle de la campagne GEODEVA. La résolution spatiale du satellite reste insuffisante sur cette zone : il est nécessaire de déterminer un gradient local de surface moyenne de la mer par GPS. Cependant, l'une des particularités de cette campagne est la position éloignée des stations (lignes de base de l'ordre de 300 km).

La campagne GRAVILUCK au Sud des Açores a permis de comparer les résultats obtenus avec un traitement des données GPS en mode différentiel à l'aide du logiciel Track et un traitement en PPP (*Precise Point Positioning*) à l'aide du logiciel Gipsy-Oasis II.

La longueur des lignes de base sur la campagne GRAVILUCK suscite un réel intérêt. En effet, le GPS est théoriquement appliqué sur des courtes et moyennes lignes de base mais rarement supérieure à 300 km. Cette partie a démontré que le traitement GPS en mode cinématique différentiel donne des résultats partiellement satisfaisants et tout à fait exploitables dans la suite de l'étude. Il est important de souligner que le logiciel Gipsy-Oasis II, logiciel de PPP couramment utilisé en mode statique, a permis de faire l'objet de tests en mode cinématique. Les résultats se sont avérés peu concluants : il serait intéressant, dans l'avenir, d'approfondir le traitement et la recherche sur les logiciels en PPP.

La solution retenue avec le logiciel Track permettra d'exploiter les résultats, partiellement satisfaisants, pour obtenir la hauteur de la surface moyenne de la mer.

4. Perspectives

Dans l'avenir, l'un des objectifs de ces campagnes de géodésie en fond de mer est de comparer l'évolution des mouvements verticaux. Cette méthodologie de traitement GPS développée au cours de ce projet de fin d'études en mer va permettre d'appliquer les mêmes paramètres de traitement aux mesures GPS récoltées lors des campagnes en mer précédentes et à venir dans un but d'uniformisation des résultats.