

# POSITIONNEMENT DE BOUÉE GPS EN "POINT LIBRE"

Société d'accueil : GéoAzur - OCA

PFE présenté par : **Antoine Gaudry**

Directeur (directrice) du PFE : *Pascal Bonnefond*

Correcteurs : *Gilbert FERHAT - Jacques LEDIG*



---

## Introduction

L'amélioration du système GPS et le développement de logiciels spécifiques notamment dans le cadre du GPS-cinématique permettent aujourd'hui d'atteindre un niveau de précision tel que cette technique peut et est utilisée dans le cadre de la calibration altimétrique. Pourtant, les techniques utilisées actuellement (cinématique différentielle) s'écartent rapidement de la précision requise ( $\sim < 1$  cm) lorsque l'on s'éloigne du point fixe de référence (distance supérieure à quelques dizaines de km).

Grâce à l'amélioration de la qualité des produits fournis par les centres d'analyse, et à l'amélioration des modélisations et des corrections, les résultats des calculs en point libre sur des stations fixes et de longues sessions de mesures ont des précisions comparables en mode différentiel. Cette technique permet déjà, par exemple, de suivre l'évolution du glacier Mertz en Antarctique.

L'émergence du positionnement absolu permettant de s'affranchir d'un point de référence (Precise Point Positioning) relance l'intérêt de l'utilisation du GPS pour surveiller le niveau de la mer, notamment dans des zones éloignées des côtes.

L'objectif principal de ce projet de fin d'études est de caractériser la précision et l'exactitude que l'on peut obtenir sur le niveau de la mer à partir des observations GPS cinématiques. Il s'agira également de mettre en évidence les paramètres du logiciel GINS qui influent sur la qualité des résultats et de développer des outils qui permettent de visualiser et caractériser la qualité du résultat.

## 1. Contexte de l'étude

### 1.1. La calibration altimétrique

La compréhension du changement climatique est l'un des enjeux les plus importants de ce début de XXI<sup>ème</sup> siècle, c'est pourquoi la précision des mesures d'altimétrie océanique fait l'objet d'une attention particulière par les agences spatiales. Témoin de ces attentes, le satellite Jason-3, copie conforme de Jason-2, va le remplacer dès 2013. La continuité de ces missions, depuis le satellite TOPEX/Poséidon (1992-2005) avec une précision de mesure de l'ordre de 2 cm, a permis de déterminer le niveau actuel de la mer qui s'élève chaque année d'environ 3,1 mm en moyenne.

Le site de calibration a pour but de vérifier, en un lieu géographique, la qualité des mesures altimétriques. Sur un site de calibration, des opérations de rattachements géodésiques couplées à un positionnement GPS permettent de déterminer, d'un point de vue absolu, la hauteur de mer au-dessus de l'ellipsoïde à partir de mesures in situ effectuées, par exemple, par des marégraphes et/ou une bouée équipée d'une antenne GPS (notée bouée GPS par la suite).

## 1.2. Configuration des levés

Deux sites ont été retenus en Corse : à Aspretto (proche d'Ajaccio) pour l'installation d'instruments de géodésie permanents dont un récepteur GPS et la station laser ultra mobile de l'OCA à titre semi-permanent, ainsi qu'au Cap de Sénétosa (près de Propriano, 40 km au sud d'Ajaccio) pour l'installation de marégraphes et de points géodésiques de référence.

- ✓ Le premier site est situé sur une base navale équipée d'un récepteur GPS permanent du réseau EUREF et IGS, et d'un marégraphe côtier numérique permanent. Il est proche (~5 km) de la trace commune des satellites ERS 1 & 2 et du satellite Envisat.
- ✓ Le second site, au Cap de Sénétosa, était survolé exactement par le passage ascendant de TOPEX/Poséidon (numéro 85) remplacé en 2002 par Jason-1, puis en 2008 par Jason 2. Il est équipé de quatre marégraphes à capteur de pression (ANDERAA) et un point géodésique équipé d'un récepteur GPS permanent depuis fin 2003.

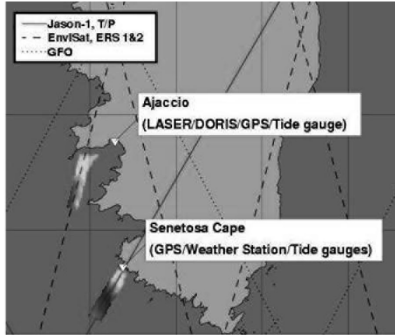


Figure 1. : Plan de situation général des sites de calibration en Corse.

## 1.3. Protocole des sessions de mesures à l'aide d'une bouée GPS

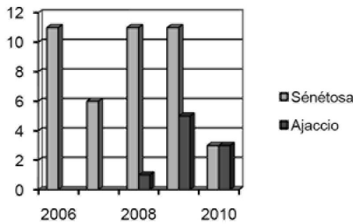


Figure 2. : Nombre de campagnes de mesures par bouée GPS par année

Depuis le début de l'année 2000, des sessions de mesures à l'aide d'une bouée GPS ont été régulièrement effectuées à chaque passage des satellites quand les conditions de navigation étaient favorables. Les manipulations consistaient à mettre en place la bouée GPS au point de calibration situé à quinze kilomètres des côtes sous la trace des satellites, ainsi qu'au-dessus ou à proximité des différents marégraphes présents sur le site. Nous obtenons donc, pour chaque passage de calibration, des sessions cinématiques qui durent environ entre une heure et deux heures.

Ainsi depuis l'année 2006, quarante-deux campagnes de mesures par bouée GPS ont été réalisées sur le site de Sénétosa et neuf pour la calibration de l'altimètre radar d'Envisat (commencées en 2008) sur le site d'Ajaccio.

## 2. Etat de l'art

### 2.1. Les promesses du positionnement GPS en « point libre »

La méthode de positionnement absolu consiste à mesurer au moins trois distances en code simultanément sur trois satellites. Comme on connaît leur position à chaque instant, il suffit de calculer le point d'intersection des trois sphères. Or, pour tenir compte de la non-synchronisation du récepteur avec les horloges embarquées, une mesure sur un quatrième satellite est nécessaire pour résoudre le système à quatre équations et quatre inconnues. Les observations supplémentaires permettent d'améliorer la solution.

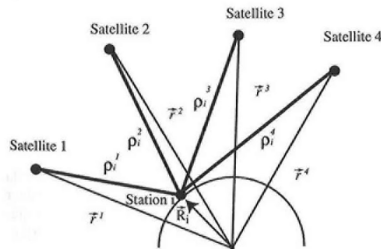


Figure 3. : Principe du positionnement absolu (Botton et al. 1996)

- ✓ Le principal avantage de cette méthode est qu'elle ne nécessite pas de second récepteur, ce qui permet de placer le récepteur dans des endroits éloignés d'une station de référence.
- ✓ L'inconvénient majeur est que toutes les erreurs (l'erreur d'orbite, les erreurs sur la propagation de l'onde, etc.) se répercutent directement sur la solution. Cette méthode de positionnement est donc sensible à toutes perturbations et demande que toutes les erreurs soient modélisées pour être corrigées.

### 3. Post-traitement des observations GPS cinématique

#### 3.1. Présentation de deux logiciels de post-traitement cinématique

- ✓ TRACK, développé au MIT (Massachusetts Institute of Technology), reprend le principe de fonctionnement de GLOBK (GLOBAL Kalman filter VLBI and GPS analysis program) comme le filtre de Kalman, afin d'obtenir la solution la plus probable. Il se base sur le positionnement relatif par la mesure de la différence de phase entre une station fixe dont on connaît les coordonnées et une station mobile dont on cherche à déterminer les coordonnées à chaque époque d'observation.
- ✓ GINS-PC, développé par l'équipe de Géodésie Spatiale du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), dispose d'un mode de calcul cinématique en point libre. Un ensemble de modèle contenu dans le logiciel permet de former les équations de mesure et de calculer les résidus pondérés. Ces résidus sont reliés aux paramètres à ajuster par des équations linéaires qui sont ensuite inversées pour obtenir les coordonnées ajustées de la station mobile à chaque époque d'observation.

Les données marégraphiques ainsi que les solutions routinières calculées en positionnement différentiel par le logiciel TRACK serviront de référence à l'étude.

#### 3.2. Description générale de l'algorithme de traitement

Le traitement du fichier de mesures issu d'un ou plusieurs récepteurs GPS demande tout d'abord :

- ✓ de prétraiter ces fichiers afin qu'ils soient compatibles avec les logiciels de TRACK ou GINS
- ✓ de sélectionner les meilleures périodes de mesures.

Enfin, après le traitement, les résultats doivent être filtrés afin d'atténuer le bruit et affichés pour qu'ils puissent être interprétés.

Les critères qui permettent de juger de l'exactitude de GINS sont visualisables à travers des courbes et des cartes qui sont générées automatiquement. Ces outils informatiques d'aide à la décision recherchent automatiquement les informations judicieuses dans les listings générés par GINS. Le programme automatisé que j'ai développé, repose sur une nomenclature des fichiers rigoureuse et intègre des calculs propres à l'utilisation de la bouée, comme la prise en compte de la différence de hauteur entre le point de référence de l'antenne et la ligne de flottaison.

#### 3.3. Recherche des paramètres optimums

GINS utilise lors de son processus un ensemble de paramètres de calcul contenu, au préalable, dans un fichier directeur. J'ai donc tout d'abord fait l'inventaire de l'ensemble des paramètres contenu dans ce fichier directeur. Je me suis ensuite concentré sur les paramètres suivants afin de déterminer leur influence sur le résultat :

- ✓ la fréquence de détermination de la correction troposphérique,
- ✓ la fréquence d'échantillonnage,
- ✓ les contraintes sur les paramètres ajustés,
- ✓ la durée de la session de mesures.

La méthodologie adoptée consiste à observer l'influence de ces paramètres un par un, tout d'abord dans un cas le plus favorable possible, la station géodésique permanente d'Ajaccio sur une journée ou plusieurs journées, puis à apporter à cette situation des événements perturbateurs afin d'approcher peu à peu du cas défavorable de la bouée GPS déployée au large.

La répétabilité de la solution journalière a été étudiée en comparant 7 sessions de mesures journalières consécutives sur la station permanente d'Ajaccio.

Enfin, un trou de mesures dans un fichier RINEX a été simulé et la réaction de GINS à cette perturbation a été observée. Nous avons alors montré qu'il est préférable de traiter séparément les deux périodes de part et d'autre de l'interruption, que de traiter directement l'ensemble du fichier de mesures.

### **3.4. Application à la session bouée du 03/10/2009**

Suite à une étude statistique sur les sessions de 2009, la session de mesures au marégraphe du 03/10/2009 a attiré notre attention par ses écarts et sa dispersion élevée. En se basant sur les résultats obtenus sur la station GPS permanente d'Ajaccio, les analyses sur cette session cinématique de bouée GPS ont permis de montrer :

- ✓ l'impact d'un problème d'orbite/horloge d'un satellite,
- ✓ le problème du découpage des passages par PRAIRIE (logiciel amont de GINS),
- ✓ l'influence de la géométrie de la constellation,
- ✓ l'influence de la fréquence d'échantillonnage sur la résolution des ambiguïtés,
- ✓ l'influence de l'élimination de certains satellites,
- ✓ l'influence du type d'orbite et des corrections d'horloge utilisées.

Ces exemples permettent de montrer une démarche qui conduit à améliorer le résultat à partir des mesures disponibles. Cette étude révèle aussi les limites actuelles de GINS pour des traitements de sessions dynamiques hautes fréquences de courtes durées (moins de 2 heures).

### **3.5. Étude statistique des comparaisons avec Track et le marégraphe d'Ajaccio**

En éliminant les résultats visiblement aberrants, les moyennes des écarts obtenues entre le résultat calculé par GINS et le marégraphe ou entre GINS et TRACK varient de  $\pm 2$  cm à  $\pm 9$  cm. Bien que nous ayons trop peu de sessions de mesures pour réaliser une étude statistique aboutie, ces résultats ne semblent pas affectés d'une erreur systématique, mais plutôt d'une erreur aléatoire due à la géométrie de la constellation, à l'état de la mer ou à la qualité des orbites et des corrections d'horloge fournies. Tous ces éléments influent sur le découpage des passages par PRAIRIE et la résolution des ambiguïtés.

## **Conclusion et perspectives**

Le mode non-différentiel de GINS, appelé aussi calcul en point libre, n'est pas encore de précision suffisante pour être utilisé de façon nominale, les écarts moyens entre la solution de GINS et le marégraphe variant de  $\pm 2$  cm à  $\pm 9$  cm, ce qui est bien supérieur à l'exactitude centimétrique recherchée.

L'exactitude des solutions peut être optimisée par :

- L'amélioration, si possible, du protocole de mesure par :
  - ✓ l'augmentation de la durée de mesure jusqu'à 3 heures,
  - ✓ l'utilisation de la fréquence des mesures à 1 s,
  - ✓ la vérification de la qualité des produits des centres d'analyse,
  - ✓ l'évaluation de la qualité de la géométrie de la constellation.
- L'amélioration prochaine du logiciel GINS par :
  - ✓ l'intégration d'une fonction de projection de la correction troposphérique prenant en compte l'azimut de la ligne de visée (AMF),
  - ✓ l'intégration d'un filtre de Kalman,
  - ✓ l'accès aux biais électroniques des satellites par le centre d'analyse du CNES-CLS,
  - ✓ la réitération du découpage des passages par PRAIRIE à partir des solutions ajustées de GINS.