

# Mesure d'intégrité par l'exploitation des signaux de navigation par satellites

**Soutenance de thèse de Christophe CHARBONNIERAS**

**4 décembre 2017 à 10h00**

**Salle des thèses de l'ISAE**

## Devant le jury :

- M. Pascal LARZABAL
- M. François VINCENT (Directeur de thèse)
- M. Jonathan ISRAEL (Responsable ONERA)
- M. Emmanuel DUFLOS (Rapporteur)
- M. Alexandre RENAUX (Rapporteur)
- Mme. Marion AUBAULT (Responsable CNES)

## Résumé

Dans le cadre des systèmes de positionnement par satellite GNSS (« Global Navigation Satellite Systems »), l'intégrité de la navigation d'un utilisateur est gérée en réception par la détection, l'identification voire l'exclusion de mesures de pseudo-distance jugées erronées. Généralement basés sur le concept a posteriori RAIM (« Receiver Autonomous Integrity Monitoring »), les algorithmes de contrôle autonome d'intégrité fournissent de hautes performances pour l'aviation civile, dont le contexte de navigation est caractérisé par une forte visibilité des satellites et peu de signaux parasites captés par l'antenne réceptrice. L'algorithme WLSR RAIM est régulièrement utilisé en tant que technique de référence. Néanmoins, les techniques RAIM ne sont pas compatibles avec une navigation terrestre en milieu contraint. En effet, le contexte urbain est notamment caractérisé par un masquage récurrent des signaux satellitaires directs ainsi que la réception de multi-trajets générés par l'environnement proche du récepteur. RAIM ne prend pas en compte l'ensemble des données disponibles en réception, dégradant ainsi fortement ses performances. Il est donc nécessaire de développer des méthodes de contrôle d'intégrité compatibles avec un tel contexte de navigation. Pour cela, la thèse propose d'étudier l'apport d'informations GNSS non utilisées par les techniques RAIM. Deux paramètres principaux ont été exploités : le signal GNSS brut reçu et les estimations de direction d'arrivée des signaux satellitaires DOA (« Direction Of Arrival »).

La première étape a consisté à implémenter une méthode a priori qui évalue la cohérence du positionnement estimé par rapport au signal brut directement reçu. Cette méthode a été nommée Direct-RAIM (D-RAIM) et a démontré une forte sensibilité de détection, permettant d'anticiper d'éventuels risques sur la navigation et de caractériser plus finement la qualité de l'environnement proche du récepteur. Toutefois, le caractère a priori de l'approche engendre de potentielles sous-estimations d'erreurs de navigation en cas de modèle de signal défectueux. Afin de contourner cette limitation, un couplage WLSR RAIM – D-RAIM a été développé, nommé Hybrid-RAIM (H-RAIM). Une telle approche permet de combiner robustesse et sensibilité apportées par ces techniques respectives.

Le second axe de recherche a mis en évidence la contribution de l'information des DOA dans un contrôle autonome d'intégrité. L'intégration d'un réseau d'antennes en réception permet d'obtenir l'estimation des DOA pour l'ensemble de la constellation visible. Théoriquement, l'évolution jointe des DOA est directement liée à l'attitude du réseau. Cet aspect permet donc de détecter toute incohérence sur une ou plusieurs voies en cas d'estimation(s) de DOA biaisée(s), par rapport à l'ensemble de la constellation. L'algorithme robuste RANSAC (« RANdom SAMple Consensus») a été utilisé afin de détecter tout comportement aberrant dans l'estimation des DOA, et ainsi mesurer la confiance que l'utilisateur peut placer dans chaque voie. L'algorithme WLSR RAIM RANSAC a ainsi été implémenté. L'intégration de la composante DOA permet d'ajouter un degré de liberté dans le contrôle autonome d'intégrité côté récepteur et ainsi d'affiner la détection voire l'exclusion d'erreurs.

Au cours de cette thèse, un récepteur logiciel a été implémenté, permettant de traiter des signaux Galileo, de la génération du signal jusqu'au positionnement puis au contrôle d'intégrité. Ce récepteur a pu être évalué à partir de données simulées en environnement urbain.

## Mots clés

GNSS, intégrité, RAIM, géolocalisation, réseau d'antennes, RANSAC