

# PhD Thesis Description

## 1. Title

**DETECTION ET REDUCTION DES PERTURBATIONS AFFECTANT LES SIGNAUX GNSS PAR « DEEP RECURRENT NEURAL NETWORKS »**

## 2. Supervisors

- Supervisor: Nicolas COUËLLAN (ENAC/IA) ([nicolas.couellan@recherche.enac.fr](mailto:nicolas.couellan@recherche.enac.fr))
- Co-supervisor: Gaël PAGES (ISAE-SUPAERO/NAVIR<sup>2</sup>) ([gael.pages@isae-supaero.fr](mailto:gael.pages@isae-supaero.fr))
- Participant: **Antoine BLAIS (ENAC/SIGNAV)** ([blais@recherche.enac.fr](mailto:blais@recherche.enac.fr))

## 3. Description

### 3.1. Context

Une limite actuelle à l'utilisation des systèmes de navigation par satellite dans les véhicules autonomes réside dans leur vulnérabilité aux perturbations des signaux dues aux multitrajets (réflexions parasites sur des surfaces environnantes). Ce phénomène devient plus prégnant à mesure que le milieu urbain se densifie.

Les approches existantes de réduction de l'effet des multitrajets ont atteint leur limite. Elles ne prennent pas en compte la dynamique du récepteur d'une part et celles des multitrajets d'autre part. En particulier la réponse temporelle du récepteur à la distorsion générée par le multitrajet est ignorée.

Il existe aujourd'hui un corpus d'algorithmes de Machine Learning spécialisés dans l'apprentissage de données dynamiques regroupés sous la terminologie « Deep Recurrent Neural Networks ». Ce projet vise à démontrer que le couplage de ces techniques avec la corrélation mise en œuvre dans le récepteur peut améliorer la détection et la réduction de l'effet des multitrajets.

### 3.2. Objective's)

Ce projet s'inscrit dans la continuité de deux thèses portant sur la détection statique des multitrajets. Un multitrajet est une réflexion sur une ou plusieurs surfaces environnantes du signal émis par un satellite de navigation. Ces multitrajets perturbent la précision de la position délivrée à l'utilisateur (avion en approche, piéton, véhicule autonome en milieu urbain, ...).

Les méthodes classiques de réduction de l'effet des multitrajets ayant montré leurs limites, ces thèses ont démontré la validité des approches à base d'apprentissage automatique.

La signature dynamique des multitrajets n'a jusqu'à présent pas encore été exploitée. Ce projet de thèse se propose de développer une méthodologie incorporant la dimension temporelle des signaux.

Plus spécifiquement, dans un récepteur GNSS (Global Navigation Satellite System) le principe fondamental mis en œuvre est la corrélation des signaux. Celle-ci se fait sur deux voies, I (In-phase) et Q (in-Quadrature), dans l'objectif de mesurer la distance entre le récepteur et le satellite. Un récepteur classique se contente d'un nombre limité de points de corrélation. La méthode proposée dans les deux thèses est en rupture avec cette technique : elle propose de traiter les voies I et Q comme des images basse résolution. La richesse de l'information à disposition ouvre la voie aux méthodes à base de données (Data Science) en lieu et place des techniques traditionnelles d'analyse des signaux.

Des publications récentes [1-5] ont ainsi démontré la performance des réseaux de neurones convolutifs (CNN) pour la réduction de l'impact des multitrajets.

Une limite de l'approche actuelle est qu'elle ne tient pas compte de la dynamique du récepteur d'une part et des multitrajets d'autre part. En particulier la réponse temporelle du récepteur à la distorsion générée par les multitrajets est ignorée dans les travaux actuels.

Il existe aujourd'hui un corpus d'algorithmes de Machine Learning spécialisés dans l'apprentissage de données dynamiques (RNN, LSTM, ...), regroupés sous la terminologie « Deep Recurrent Neural Networks ». Ce projet de thèse vise à démontrer que le couplage de ces techniques avec la corrélation mise en œuvre dans le récepteur peut améliorer la détection et la réduction de l'effet des multitrajets par le récepteur. Le travail de thèse se focalisera notamment d'une part sur la dépendance intrinsèque entre le signal d'intérêt et sa perturbation due aux multitrajets et d'autre part sur l'étude d'une méthodologie d'apprentissage intégrant cette dépendance.

NB : l'équipe de l'ENAC, par son ancrage au sein de la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC), dispose d'un accès direct à des données et des environnements GNSS de simulation.

### 3.3. Work Plan

Programme envisagé : 3 ans de thèse

1) Pré-analyse : 6 mois

- Étude bibliographique sur :
  - o la caractérisation des multitrajets et notamment leur dynamique,
  - o la détection et la réduction des multitrajets.
- Prise en main des travaux existants au laboratoire ENAC sur la détection et l'estimation des multitrajets à partir de techniques de Machine Learning.
- Étude bibliographique et prise en main des techniques de Machine Learning pour les données dynamiques (RNN, LSTM notamment).

2) Modèle d'apprentissage : 6 mois

- Étude et choix de représentation des données GNSS dynamiques.
- Étude de la dépendance signal principal / multitrajet. Analyse de l'impact de cette dépendance sur l'apprentissage.
- Proposition d'une prise en compte de la dépendance dans la méthode d'apprentissage.
- Proposition d'une architecture d'apprentissage.

3) Implémentation et validation du modèle : 6 mois

4) Étude expérimentale sur données de tests : 6 mois

5) Optimisation de l'architecture et de la résolution des images : 3 mois

6) Extension du travail au cas semi-supervisé pour la prise en compte de données faiblement étiquetées : 3 mois

7) Rédaction de thèse : 6 mois

À l'issue de la première implémentation et des premiers résultats, l'étudiant(e) pourra présenter ses travaux en conférences.

À la fin de la validation du modèle et de l'étude expérimentale, la rédaction d'un premier article de journal destiné à la communauté Machine Learning pour le signal permettra de présenter les apports méthodologiques liés à l'apprentissage.

Un deuxième article destiné davantage à la communauté traitement du signal et GNSS permettra de synthétiser la démarche de recherche et les résultats obtenus.

### 3.4. Keywords

GNSS, Multipath, Machine Learning, Deep Learning, Recurrent Network, RNN, LSTM

### 3.5. References

[1] Evgenii Munin, Antoine Blais, Nicolas Couellan, "Multipath detection at GNSS correlator output using image processing by convolutional neural network", International Navigation Conference, Edinburgh, UK, November 2019.

[2] Evgenii Munin, Antoine Blais, Nicolas Couellan, "Convolutional neural network for multipath detection in GNSS receivers", arXiv, 2019.

[3] Evgenii Munin, Antoine Blais, Nicolas Couellan, "Multipath detection at GNSS correlator output using Convolutional Neural Networks", International Conference on Artificial Intelligence and Data Analytics for air Transportation (AIDA-AT/IEEE Computational Intelligence Society), Singapore, 3-4 feb 2020.

[4] Evgenii Munin, Antoine Blais, Nicolas Couellan, "GNSS multipath detection using embedded deep CNN on Intel® Neural Compute Stick", Institute of Navigation conference GNSS+ 2020, Sept. 21-25 2020.

[5] Thomas Gonzalez, Antoine Blais, Nicolas Couellan, Christian Ruiz, "Multipath parameters estimation with CNN-regression on GNSS correlator outputs", Institute of Navigation conference GNSS+ 2021, Sept. 20-24 2021.

[6] Antoine Blais, Nicolas Couellan, Evgenii Munin, "A novel image representation of GNSS correlation for deep learning multipath detection", Array, 2022.

[7] Thomas Gonzalez, Antoine Blais, Nicolas Couellan, Christian Ruiz, "Distributional loss for convolutional neural network regression and application to GNSS multi-path estimation", arXiv, 2022.

[8] Thomas Gonzalez, Antoine Blais, Nicolas Couellan, Christian Ruiz, "Multipath Parameters Estimation in Physically Based Synthetic Environment Using Robust Deep Neural Regression", Proceedings of the 2023 International Technical Meeting of The Institute of Navigation, 2023.

### 4. Doctoral School

EDMITT

### 5. Research Unit

ENAC Laboratory

### 6. Proposed Funding

- Thales Alenia Space (private company, half funding, confirmed)
- Other half funding: FONISEN, ENAC