

## Proposition de sujet de thèse

Intitulé : **Détection et caractérisation d'anomalies dans l'orbite des satellites grâce à l'apprentissage machine**

**Date de début** : 1er octobre 2022

**Date limite de candidature** : 29 avril 2022

**Mots clés** : satellite surveillance and tracking (SST), machine learning, détection d'anomalies, météo de l'espace.

**Profil et compétences recherchés** : machine learning, deep-learning, traitement du signal. Connaissances dans l'environnement spatial, l'astronomie et plus particulièrement la mécanique céleste ou optiques sont des atouts.

## Structures d'accueil

### SpaceAble

89 boulevard de Magenta, 75010 Paris

**Contact** : Olivier Beltramo-Martin

Tél : +336 74 29 69 10

Email : [olivier.beltramo-martin@spaceable.org](mailto:olivier.beltramo-martin@spaceable.org)

### TéSA

7 boulevard de la Gare, 31500 Toulouse

**Contact** : Jean-Yves Tourneret

Tél : +33 5 61 24 73 60

Email : [jean-yves.tourneret@toulouse-inp.fr](mailto:jean-yves.tourneret@toulouse-inp.fr)

**SpaceAble** est une startup créée par Julien Cantegreil en 2018 qui est devenue un acteur majeur de la préservation de l'espace. Le pôle RDSA est composé d'une petite dizaine de membres spécialisés sur les questions de météo de l'espace, de SST et de science des données (data science) pour les données spatiales.

**TéSA** est un laboratoire de recherche coopératif créé en 2004 sous la forme d'une association à but non lucratif. Ses membres sont spécialisés dans les télécommunications spatiales et aéronautiques, avec une expertise dans les communications numériques, les réseaux, la navigation et le positionnement ainsi que le traitement du signal et des images.

Le candidat ou la candidate sera amené à travailler sur Toulouse au sein de TéSA et en interaction quotidienne avec TéSA et le pôle RDSA de SpaceAble. Quelques voyages sur Paris (2j/mois) sont à prévoir.

**La thèse sera financée partiellement par SpaceAble ; Une demande de co-financement sera soumise à une demande DGA-CIFRE-Défense dont la date limite est le 6 mai et doit inclure le CV du candidat ou de la candidate.**

## Présentation du projet de thèse et de ses objectifs

### 1. L'enjeu majeur du Space Situational Awareness

La prochaine décennie verra l'augmentation exponentielle du nombre de satellites en orbite autour de la Terre : il passera de quelques 2000 satellites actuellement à 50 000 d'ici 10 ans, dont 93% de ces satellites seront localisés en orbite basse (200 - 2000 km). Cette augmentation est la conséquence du développement des moyens de communications espace-sol notamment, mais aussi de la redondance nécessaire des satellites afin de minimiser

l'impact des anomalies potentielles qui peuvent frapper de ces derniers. Ce contexte est celui de la *Space Situational Awareness* (SSA) dont la problématique est de réduire les risques d'anomalies en présence d'une augmentation croissante de satellites.

Ces anomalies peuvent être causées par des défauts matériels (batterie, propulsion, ...), des collisions (satellite, débris) ou bien être concomitantes à des phénomènes physiques à l'origine de la notion de météo de l'espace (plasma ambiant, particules haute énergie, ...). Afin de réduire le taux d'anomalies des satellites et donc leur redondance, il devient particulièrement critique d'être en mesure de les anticiper et d'en comprendre l'origine.

## 2. Objectifs de la thèse

La thèse a pour objectif de répondre à trois questions fondamentales :

- **Peut-on prédire une anomalie en observant les paramètres orbitaux d'un satellite ?**

La trajectoire d'un satellite peut être définie par ses éphémérides, c'est-à-dire ses coordonnées et son champ de vitesse en fonction du temps. En pratique, remonter à cette information peut ne pas être immédiat voire compromis ; dans ce cas, on se réfère aux paramètres *Two-Line Elements* (TLEs) qui contiennent les paramètres de l'orbite du satellite (excentricité, demi grand-axe, ...) ainsi que des paramètres complémentaires (coefficient de traînée, ...).

Le ou la candidate sera amené.e à déployer et optimiser des approches orientées basées par exemple sur des techniques de machine learning appliquées aux données TLE publiques et privées, mais aussi à participer aux campagnes d'acquisition de nouvelles données grâce aux moyens internes de SpaceAble et des observatoires partenaires. Le ou la candidate pourra ainsi travailler sur des données uniques et participer à optimiser la détection optique des satellites depuis le sol.

- **Peut-on contraindre les équipements du satellite à partir de l'évolution de ses TLEs ?**

Comprendre l'origine des anomalies nécessite aussi d'identifier quels équipements sont montés sur le satellite, comme par exemple le type de propulsion utilisée. Cette information est possiblement identifiable via les paramètres TLEs et peut s'avérer cruciale à déterminer afin d'inférer les anomalies possibles en fonction de l'équipement mis en place. Le ou la candidat.e sera amené à travailler sur des données labélisées afin d'identifier les potentielles connections entre équipements embarqués et évolutions anormales des TLE.

- **Peut-on catégoriser les anomalies et les connecter à la météo de l'espace ?**

La nature des anomalies est très variée et en connaître la cause est une plus-value fondamentale afin de les minimiser. Par exemple, la capacité à identifier un comportement symptomatique d'une défaillance technique pourrait permettre d'influer sur la décision d'un opérateur quant à une éventuelle manœuvre à opérer.

De plus, certaines anomalies sont une conséquence directe de phénomènes issus de la météo de l'espace (drag, décharge de surface, particule haute énergie, ...). Est-il alors possible de détecter l'impact causé par ce type d'événements sur la variation des paramètres TLEs et de le catégoriser ? Aussi, quels sont les paramètres solaires et géomagnétiques qu'il convient de prédire afin d'anticiper ce type d'anomalies ? Comment fusionner cet ensemble de données ?

## 3. Verrous scientifiques

Le problème posé par la société SpaceAble nécessite de développer de nouvelles méthodes de détection d'anomalies adaptées à des séries temporelles multivariées et permettant de déterminer des comportements anormaux dans des données de natures diverses (potentiellement liées) associées aux TLEs et à des paramètres clés utilisés en météo de l'espace.

Le ou la candidat.e bénéficiera de l'expertise en machine learning de TéSA (qui a participé au co-encadrement de plusieurs thèses dans le domaine de la détection d'anomalies) et de l' en physique de l'espace et optique de SpaceAble afin de mener à bien son projet de thèse, avec la possibilité d'être recruté.e à SpaceAble à la fin de la thèse.