

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DTIS-2025-43**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Palaiseau

Département/Dir./Serv. : DTIS/IGNC

Tél. : +33 1 80 38 66 86

Responsable(s) du stage : Prince Eдорh

Email : prince.edorh@onera.fr

Bruno Hérisse

bruno.herisse@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Identification et Commande des Systèmes

Type de stage : Fin d'études bac+5 Master 2 Bac+2 à bac+4 Autres

Intitulé : Contrôle optimal de trajectoires de lanceurs réutilisables avec zones d'exclusion

Les lanceurs réutilisables représentent une avancée majeure dans l'industrie spatiale, permettant de réduire les coûts en récupérant et réutilisant certaines parties des véhicules spatiaux après leur lancement. La phase de récupération nécessite une gestion optimale de la trajectoire de retour, avec des contraintes rigoureuses pour assurer la sécurité et la précision de l'atterrissage. Parmi ces contraintes figurent des zones d'exclusion (zones habitées, infrastructures critiques, espaces aériens interdits), c'est-à-dire des zones géographiques que la trajectoire doit absolument éviter pour des raisons de sécurité et de réglementation. Ces contraintes géographiques ajoutent un niveau de complexité dans l'optimisation de la trajectoire de retour des lanceurs, nécessitant une modélisation précise et une prise en compte rigoureuse [1].

La génération de trajectoires pour un étage réutilisable est généralement résolue via un problème de commande optimale non-linéaire sous [2] [3]. Dans ce stage, nous utiliserons des méthodes de tir indirect, basées sur le **principe du maximum de Pontryagin (PMP)** [4], pour transformer ce problème en un système d'équations différentielles, accompagné de **conditions nécessaires d'optimalité**. Ces méthodes, bien que plus complexes que les méthodes directes [5], offrent une grande précision, particulièrement pour les problèmes impliquant des contraintes sur l'état. En revanche, un des défis majeurs des méthodes indirectes est l'initialisation du solveur, notamment dans le cas de systèmes fortement non-linéaires. Le stagiaire travaillera donc sur l'introduction de **méthodes d'homotopie** pour gérer ce problème critique [6].

L'objectif principal est d'introduire la gestion des **contraintes d'état par arc-frontière** dans un outil existant de contrôle optimal codé en C++, utilisé pour la résolution de problèmes de récupération de lanceurs réutilisables (SOCP [7]). Le stagiaire aura pour mission de :

- Prendre en main de l'application du PMP et de la gestion des contraintes d'état (ex : point de contact, arc-frontière) ;
- Modéliser les contraintes d'état liées aux zones d'exclusion afin de faciliter leur intégration dans un algorithme de résolution exploitant le PMP ;
- Dériver les conditions nécessaires d'optimalité découlant de ces contraintes ;
- Développer et implémenter des contraintes d'état liées aux zones d'exclusion dans le cadre du solveur existant ;
- Exploiter des méthodes d'homotopie pour faciliter la résolution numérique du problème ;

- Tester et valider les résultats obtenus à travers des simulations et des comparaisons avec des solutions de référence ;
- Rédiger un rapport de synthèse.

Un dossier de candidature contenant CV, lettre de motivation et relevés de notes récents est à envoyer à tous les responsables du stage aux adresses mails indiquées.

Références

1. JORRIS, T. R.; COBB, R. G. Multiple method 2-D trajectory optimization satisfying waypoints and no-fly zone constraints. **Journal of Guidance, Control, and Dynamics**, v. 31, n. 3, p. 543--553, 2008.
2. EDORH, P.; HÉRISSÉ, B.; BOURGEOIS, E. **Glide back recovery of a winged reusable launch vehicle with wind estimate**. EUCASS-3AF 2022. [S.l.]: [s.n.]. 2022.
3. BRENDEL, E.; HÉRISSÉ, B.; BOURGEOIS, E. **Optimal guidance for toss back concepts of Reusable Launch Vehicles**. EUCASS 2019. [S.l.]: [s.n.]. 2019.
4. TRELAT, E. **Contrôle optimal: théorie & applications**. Paris: Vuibert, 2005.
5. BRYSON, A. E. **Applied Optimal Control**. New York: Routledge, 1975.
6. HERMANT, A. Homotopy algorithm for optimal control problems with a second-order state constraint. **Applied Mathematics and Optimization (Springer)**, v. 61, p. 85--127, 2010.
7. HÉRISSÉ, B. **SOCp — Shooting for Optimal Control Problems**, 2019.
Code source : <https://github.com/bherisse/socp>

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? Non

Méthodes à mettre en oeuvre :

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Recherche théorique | <input type="checkbox"/> Travail de synthèse |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche appliquée | <input checked="" type="checkbox"/> Travail de documentation |
| <input type="checkbox"/> Recherche expérimentale | <input type="checkbox"/> Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : Oui

Durée du stage : 6 mois Minimum : 5 mois Maximum : 6 mois

Période souhaitée : à partir de Janvier 2025

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis : Optimisation et commande optimale Systèmes dynamiques et aérospatiaux C++ ; Matlab ; Python	Ecoles ou établissements souhaités : Ecole d'ingénieur ou Master 2, spécialisé en optimisation et mathématiques appliquées
---	---