

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DTIS-2025-29**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Palaiseau

Département/Dir./Serv. : DTIS/IGNC

Tél. : +33 1 80 38 66 36

Responsable(s) du stage : Florian Dietrich

Email : florian.dietrich@onera.fr

Ioannis Sarras

ioannis.sarras@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 : Génération de trajectoire pour véhicules de rentrée par séparation d'échelles

Sujet :

Les véhicules de rentrée sont des engins conçus pour résister à la phase de rentrée atmosphérique après un séjour en orbite. La trajectoire de rentrée doit permettre de dissiper l'énergie cinétique tout en respectant les contraintes thermiques des matériaux utilisés. Pour ce faire, les véhicules de type navette spatiale réalisent souvent des trajectoires avec des rebonds sur l'atmosphère afin de répartir la dissipation d'énergie dans le temps [1].

Le calcul de ces trajectoires est important en phase de préparation de mission ainsi que pendant le vol, dans le but d'optimiser les performances de l'engin tout en respectant les contraintes de la mission. Cependant, la dynamique de ces systèmes est fortement non-linéaire à cause du système de coordonnées utilisés et des expressions des forces aérodynamiques. Ainsi, les trajectoires sont généralement calculées par intégration numérique et optimisées avec des algorithmes d'optimisation non-linéaire gourmands en temps de calcul. L'obtention de trajectoires analytiques est une solution intéressante pour palier à ces problèmes.

Une approche classique permettant d'obtenir des expressions analytiques approchées des trajectoires est celle des expansions asymptotiques raccordées (Matched Asymptotic Expansions, MAE) [2,3], très utilisées dans les années 70-80. Cette méthode est très liée avec la théorie des systèmes singulièrement perturbés [4,5], qui permet d'analyser les propriétés d'un système en regroupant les variables selon leur vitesse d'évolution : rapide ou lente. Ce découpage s'effectue en introduisant ou en identifiant un petit paramètre ε qui multiplie les dérivées des variables rapides. Ces méthodes approchées permettent de résoudre analytiquement les équations non-linéaires et rendent possible l'amélioration de la précision de l'approximation en augmentant l'ordre des expansions.

Une des applications de la méthode des expansions au problème de la rentrée atmosphérique consiste à séparer la trajectoire en des phases exo-atmosphériques (képlériennes) où la gravité est prépondérante et des phases endo-atmosphériques où les forces aérodynamiques sont dominantes. Divers changements de variables permettent de faciliter la résolution des équations différentielles et d'aboutir à des expressions analytiques des trajectoires dans chacune des phases. Les solutions obtenues séparément sont ensuite assemblées pour former une solution composite.

Des travaux précédents à l'ONERA sur le sujet ont permis de reproduire les résultats de la littérature en deux dimensions (dans le plan vertical) [2], l'objectif de ce stage est d'étendre les résultats selon les axes suivants.

- 1) Intégrer une dépendance en vitesse des coefficients aérodynamiques afin d'améliorer la fidélité de la modélisation du véhicule, la littérature ne traitant que des coefficients constants.
- 2) Augmenter l'ordre des expansions pour améliorer la qualité de l'approximation de la trajectoire.
- 3) Passage en trois dimensions, généralement traité avec un changement de variables en coordonnées orbitales permettant de simplifier les équations.

En fonction de l'avancement, les extensions ci-dessus pourront être transposées à des problèmes de commande optimale traités dans les travaux précédents ceux de ce stage.

Le déroulé du stage sera le suivant :

- Synthèse bibliographique des travaux sur le calcul de trajectoires par expansions asymptotiques
- Modélisation du problème de rentrée atmosphérique
- Extensions des résultats selon les axes envisagés
- Implémentation et comparaisons avec les travaux précédents

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.

[1] Vinh, N. X., Busemann, A., & Culp, R. D. (1980). Hypersonic and planetary entry flight mechanics. The University of Michigan Press.

[2] Shi, Y. Y., Pottsepp, L., & Eckstein, M. C. (1971). A matched asymptotic solution for skipping entry into planetary atmosphere. AIAA Journal.

[3] Naidu, D. S. (1989). Three-dimensional atmospheric entry problem using method of matched asymptotic expansions. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems.

[4] Naidu, D. S., & Calise, A. J. (2001). Singular perturbations and time scales in guidance and control of aerospace systems: A survey. Journal of Guidance, Control, and Dynamics

[5] Kokotović, P., Khalil, H. K., & O'Reilly, J. (1999). Singular perturbation methods in control: analysis and design. Society for Industrial and Applied Mathematics.

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 :
Analyse et contrôle de systèmes non-linéaires
Systèmes aérospatiaux
Matlab

Ecoles ou établissements souhaités :
École d'ingénieurs ou Master avec spécialisé en
Automatique ou Maths appliquées