

# Earth-Moon Lyapunov to Lyapunov Mission: Long Time Duration, Low-Thrust Transfer

**Maxime CHUPIN**

Laboratoire Jacques-Louis Lions, UPMC (Paris 6), France

**Emmanuel TRÉLAT**

Laboratoire Jacques-Louis Lions, UPMC (Paris 6), France

**Thomas HABERKORN**

MAPMO Orléans, France

**Mots-clefs :** Problème des trois corps, transfert interplanétaire, contrôle optimal, homotopie

Dans ce travail, on développe une nouvelle méthode pour construire des missions à faible poussée. Dans le problème restreint des trois corps, la connaissance des variétés invariantes nous permet d'initialiser une méthode indirecte utilisée pour calculer un transfert entre orbites périodiques de Lyapunov. En effet, par l'application du Principe du Maximum de Pontryagin, on obtient la commande optimale par le calcul du zéro d'une fonction de tir, trouvé par un algorithme de Newton. Dans un premier temps, on construit une trajectoire admissible en passant par une trajectoire hétérocline reliant les deux orbites périodiques. Celle-ci est alors utilisée pour initialiser un tir multiple nous permettant de relâcher la contrainte de rejoindre la trajectoire hétérocline. Enfin, on optimise la position des points de départ et d'arrivée sur les orbites périodiques. De plus, pour rendre nos méthodes plus robustes, on utilise des méthodes de continuation sur la position et sur la poussée.

In this work, we develop a new method to design missions with low-thrust propulsion. In the Circular Restricted Three Body Problem, the knowledge of invariant manifolds helps us to initialize an indirect method solving a transfer mission between periodic Lyapunov orbits. Indeed, using the Pontryagin Maximum Principle, the optimal control problem is solved using Newton-like algorithms finding the zero of a shooting function. We first compute an admissible trajectory using a heteroclinic orbit between the two periodic orbits. It is then used to initialize a multiple shooting method in order to release the constraint. We finally optimize the terminal points on the periodic orbits. Moreover, we use continuation methods on position and on thrust, in order to gain robustness.

## Références

- [1] R. Epenoy. Optimal long-duration low-thrust transfers between libration point orbits. In *Proceedings of the 63rd International Astronautical Congress*, volume 7, page 5670, Naples, Italy, 2012.
- [2] Thomas Haberkorn. *Transfert orbital à poussée faible avec minimisation de la consommation : résolution par homotopie différentielle*. PhD thesis, INPT, 2004.
- [3] Wang Sang Koon, Martin W. Lo, Jerrold E. Marsden, and Shane D. Ross. *Dynamical Systems, the Three-Body Problem and Space Mission Design*. Springer-Verlag New York, LLC, 2006.
- [4] Emmanuel Trélat, Ludovic Faubourg, and Bernard Bonnard. *Mécanique céleste et contrôle des véhicules spatiaux*. Springer, 2005.

- [5] G. Archambeau, P. Augros, E. Trélat. *Eight-shaped Lissajous orbits in the Earth-Moon system*. MathS in Action 4 (2011), no. 1, 1–23.
- [6] J.-B. Caillau, B. Daoud; J. Gergaud. *Minimum fuel control of the planar circular restricted three-body problem* Celestial Mech. Dynam. Astronom. 114 (2012), no. 1, 137-150.