Contrôle optimal d'une voile solaire sur une période orbitale

- **Alesia Herasimenka** (Université Côte d'Azur, CNRS, Inria, LJAD)
- Lamberto Dell'Elce (Inria, Université Côte d'Azur)
- Jean-Baptiste Caillau (Université Côte d'Azur, CNRS, Inria, LJAD)
- Jean-Baptiste Pomet (Inria, Université Côte d'Azur)

Mots-clé : voile solaire, optimisation convexe, contrôle optimal, méthode de tir

Résumé :

Nous nous intéressons à un problème de contrôle optimal qui étudie les manœuvres de changement d'orbite pour une voile solaire. Les voiles solaires sont des satellites qui utilisent la lumière pour se propulser dans l'espace [1]. Les photons, en se réfléchissant sur une surface plate, exercent une force de poussée qui engendre un déplacement du satellite. Les voiles solaires suscitent un intérêt tout particulier pour des missions spatiales car elles donnent accès à une source de propulsion faible mais gratuite et à très long terme.

Une voile solaire est un système dynamique contrôlé dont le contrôle vit dans un ensemble non convexe. Ceci est dû au fait que la projection du contrôle sur la direction du soleil doit être strictement positive. On considère un scénario dans lequel la voile se trouve sur une orbite autour d'une planète ou d'un astéroïde. La dynamique est lente-rapide, les variables lentes correspondant à la géométrie de l'orbite. La variable rapide est quant à elle la position sur l'orbite donnée (longitude du satellite). Le but est de trouver un contrôle maximisant le déplacement de la voile selon la direction désirée. Le problème est alors résolu en deux étapes.

L'ensemble de contrôles est tout d'abord relaxé en un cône convexe. L'optimisation convexe permet alors de résoudre (avec de très bonnes propriétés de convergence) un problème de maximisation de déplacement avec une contrainte correspondant à la direction voulue. Pour imposer la contrainte de positivité sur le contrôle, nous utilisons le formalisme des sommes de carrés (SOS) appliqué aux polynômes trigonométriques [2]. Le contrôle obtenu est admissible, mais sous-optimal. Le multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte permet néanmoins dans un second temps d'initialiser et de faire converger un tir multiple sur le problème initial avec le vrai ensemble (non convexe) de valeurs possibles pour le contrôle. La structure des solutions fait apparaître plusieurs types d'arcs (avec des discontinuités sur le contrôle), ce qui d'une part pose la question de la détermination de cette structure, d'autre part soulève le point délicat du traitement d'un changement de structure en cours de résolution par une méthode de tir (en pratique couplée à une continuation différentielle — voir Figure 1 pour un exemple de trajectoire de voile solaire).

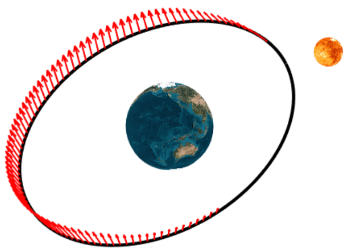

Figure 1: Solution du problème de contrôle optimal.

Références :

[1] C. R. McInnes Solar Sailing. *Springer London* , 1999.

[2] Y. Nesterov. Squared Functional Systems and Optimization Problems. *High Performance Optimization*, 405–440, 2000.