

# Design de trajectoires aériennes d'urgence par méthode Fast Marching sur un maillage triangulaire

Lucas Ligny

LocalSolver, 24 Av. Hoche, 75008 Paris  
ENAC, École Nationale de l'Aviation Civile, Toulouse, France  
lligny@localsolver.com

**Mots-clés** : *recherche opérationnelle, optimisation, trajectoire d'urgence, Fast Marching, maillage triangulaire.*

## 1 Introduction

Le sujet de notre présentation est l'optimisation de trajectoires de descente lorsqu'une situation d'urgence survient à bord d'un avion. La génération de la trajectoire doit être rapide afin de permettre aux pilotes de réagir rapidement et ainsi de maximiser les chances d'un atterrissage réussi. Nous proposons un algorithme efficace pour générer une trajectoire courte et sûre. L'algorithme doit pouvoir être exécuté sur un système de gestion de vol (FMS) : la vitesse de calcul, la taille des données stockées et la qualité de la solution sont les enjeux principaux de notre travail.

L'algorithme est basé sur une technique de propagation de fronts, la méthode Fast Marching [3]. Les fronts se propagent sur une seule pente de descente, permettant à l'algorithme de fournir une trajectoire pilotable en un temps très court (quelques secondes). Dans cette présentation, nous détaillons la construction de la structure de données optimisée. Le plan de descente est, par définition, à deux dimensions. Il s'agit d'une grille contenant des zones d'espace libre et des obstacles. Nous montrons comment réduire considérablement la taille des données stockées tout en permettant à l'algorithme de renvoyer une trajectoire très satisfaisante (c'est-à-dire courte, fluide et pilotable). L'algorithme est testé dans un environnement montagneux : l'optimalité, la volabilité et la sécurité sont toutes trois obtenues en réponse à une urgence critique.

## 2 Méthode

La méthode que nous avons employée pour générer une trajectoire d'urgence consiste à définir un unique plan de descente entre 2 points de l'espace :

- Le point correspondant à la position de l'avion au moment de la déclaration de l'urgence
- Le lieu d'atterrissage le plus proche et le plus sûr.

La représentation d'un tel plan en zone montagneuse est représentée sur la Figure 1.

Ce plan de descente comprend 2 types de données : les zones d'espaces libre et les obstacles (intersection entre le plan et le relief). Ainsi, le plan peut être vu comme une grille à deux dimensions contenant des pixels blancs (espace libre) et des pixels noirs (obstacles). Le procédé d'urgence s'opère très souvent sur dizaines de miles nautiques, il est donc nécessaire d'optimiser la structure de données afin d'alléger la quantité de données stockées. Nous utilisons pour cela un maillage triangulaire formé sur la base d'un quadtree équilibré en utilisant la méthode présentée dans [2]. Un exemple d'un tel maillage est représenté sur la Figure 2.

Enfin, l'algorithme Fast Marching nous renvoie la trajectoire optimale. L'implémentation de cet algorithme sur un maillage triangulaire a été étudiée dans [1]. Le contenu de notre présentation comprendra l'optimisation de la structure de données ainsi que l'algorithme de Fast Marching sur cette structure optimisée.

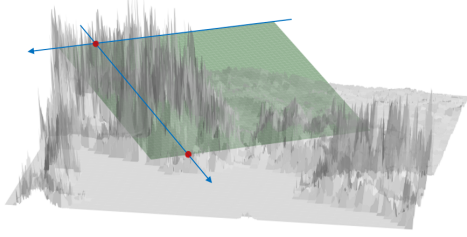


FIG. 1 – Un plan de descente.

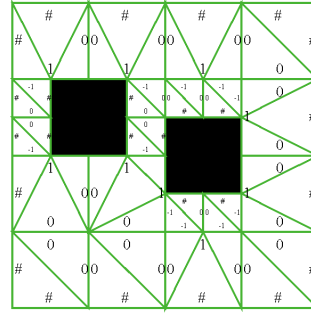


FIG. 2 – Un maillage triangulaire

### 3 Résultats

Nous avons testé notre algorithme sur une grille 12000x12000 dans un rayon de 50 NM autour de l'aéroport de Grenoble. La trajectoire générée est représentée en Figure 3.

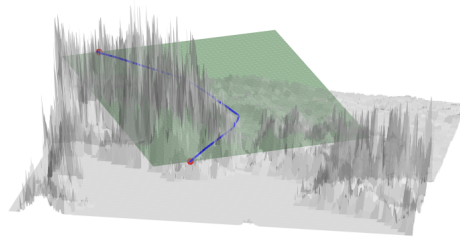


FIG. 3 – Trajectoire 3D générée.

Il s'agit de la trajectoire qui relie intuitivement les points de départ et d'arrivée de manière optimale et sûre. La trajectoire bleue contourne les montagnes, afin de minimiser la longueur de la trajectoire tout en la gardant sûre et pilotable. La trajectoire peut être suivie assez facilement par un pilote, qui guide l'avion en toute sécurité jusqu'à l'approche finale. La création de la structure des données et l'exécution de l'algorithme s'effectuent en moins de 1 seconde. La taille des données stockées ne dépasse pas 0.4 Mo.

### 4 Conclusions et perspectives

Les résultats sont bons en termes de taille des données stockées, de temps de calcul et de qualité de la solution. Les travaux futurs à notre travail se concentreront principalement sur l'étude de scénarios plus complexes, sur l'impact de l'environnement (météo, trafic) et sur l'étude d'un modèle en 3 dimensions afin d'obtenir des trajectoires plus réalistes et opérationnelles.

### Références

- [1] R. Kimmel and J. A. Sethian. Computing geodesic paths on manifolds. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 95 :8431–8435, 1998.
- [2] P. Reddy GVS, H. J. Montas, H. Samet, and A. Shirmohammadi. Quadtree-Based Triangular Mesh Generation for Finite Element Analysis of Heterogeneous Spatial Data. *ASAE*, 2001.
- [3] J. A. Sethian. A Fast Marching Level Set Method for Monotonically Advancing Fronts. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 93 :1591–1595, 1996.