

# Planification optimisée du déploiement d'un réseau de télécommunication multitechnologie par dispositifs aéroportés sur un théâtre d'opérations extérieures

Zacharie Ales<sup>1</sup>, Sourour Elloumi<sup>1</sup>, Mohamed Yassine Naghmouchi<sup>1</sup>,  
Adèle Pass-Lanneau<sup>2</sup>, Owein Thuillier<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ENSTA Paris, Unité de Mathématiques Appliquées (UMA), Palaiseau, France  
CEDRIC-Cnam, Paris, France

<sup>2</sup> Direction Générale de l'Armement, Paris, France

<sup>3</sup> Lab-STICC, Lorient, France  
owein.thuillier@univ-ubs.fr

**Mots-clés :** *plateformes stratosphériques, couverture, localisation, connexité, programmation linéaire en nombres entiers*

L'une des problématiques majeures soulevées par la projection de forces militaires sur un théâtre d'opérations extérieures relève de la mise en place d'un réseau de télécommunication rigoureusement choisi afin de satisfaire, au mieux, aux différents besoins s'exprimant sur place et en nombre toujours grandissant. De nos jours, ce sont les satellites à orbites basses (300-2000 km) et les satellites géostationnaires (36 000 km) qui sont fréquemment exploités pour répondre à cette problématique à la complexité aux multiples facettes. Dans le cadre de cette étude prospective initiée par la Direction Générale de l'Armement (DGA), une solution alternative repose sur l'utilisation de plateformes stratosphériques telles que des dirigeables ou encore des drones, appelés communément HAPS ("High Altitude Platform Stations"). Ces dispositifs aéroportés sont propulsés à l'énergie solaire et déployés dans la partie basse de la stratosphère, à environ 20 km d'altitude, très en deçà donc de l'espace où évoluent les satellites actuellement utilisés.

Dans un premier temps, il sera donc question d'établir un plan optimal de déploiement d'un ensemble de HAPS sur un ensemble discret de positions prédéfinies, conjointement avec la liste des relais de communication (de portées variables) embarqués au sein de ces derniers. Dans cette optique, plusieurs types de communications peuvent être utilisés : VHF ("Very High Frequency"), UHF ("Ultra High Frequency"), 5G, etc. L'objectif est de maximiser le taux de couverture des unités terrestres projetées sur le théâtre d'opérations considéré, au regard d'un ensemble de contraintes opérationnelles et d'un horizon temporel préalablement défini. Parmi les contraintes opérationnelles, nous retrouvons par exemple la nécessité de couvrir toutes les bases militaires, ou encore le strict respect de la charge utile (masse) maximale supportée par les différents HAPS (pouvant être de nature différente). À savoir que les unités terrestres, comme les bases militaires, possèdent un sous-ensemble de types de communications. Ainsi, dans ce premier niveau, des modélisations exactes monoobjectif et biobjectif ainsi qu'une heuristique ont été proposées. Des contraintes de renforcement (rupture de symétries, inégalités valides, etc.) et des prétraitements ont également été introduits afin d'améliorer la résolution.

Dans un second temps, il est nécessaire de s'assurer qu'un réseau connexe soit formé par les différents HAPS déployés sur la zone d'intérêt, de façon à ce que les messages puissent être transmis des unités vers les bases militaires situées en retrait, et vice-versa, éventuellement par le biais de plusieurs intermédiaires. Dans ce deuxième niveau de modélisation, complémentaire au premier, nous proposons deux variantes de modélisation exacte monoobjectif. Dans la première, les bases pourront servir d'intermédiaires dans la transmission des messages, tandis que dans la seconde, elles ne le pourront pas. De plus, deux cas ont été considérés : le cas symétrique et le cas asymétrique. Dans ce dernier, il est possible qu'un HAPS puisse transmettre un message à un autre HAPS, sans pour autant que celui-ci puisse transmettre en retour (portées des relais différentes). En revanche, dans le cas symétrique, nous supposons que s'il y a transmission d'un HAPS vers un autre, alors il doit y avoir une transmission dans le sens inverse.

Un outil complet de visualisation a également été développé dans le cadre de cette étude afin d'afficher les diverses solutions obtenues. Dans la figure 1, nous retrouvons par exemple le cas d'une solution optimale maximisant le taux de couverture des unités terrestres, tout en assurant la connexité entre les différents HAPS déployés dans la stratosphère et en garantissant que les bases militaires soient couvertes.

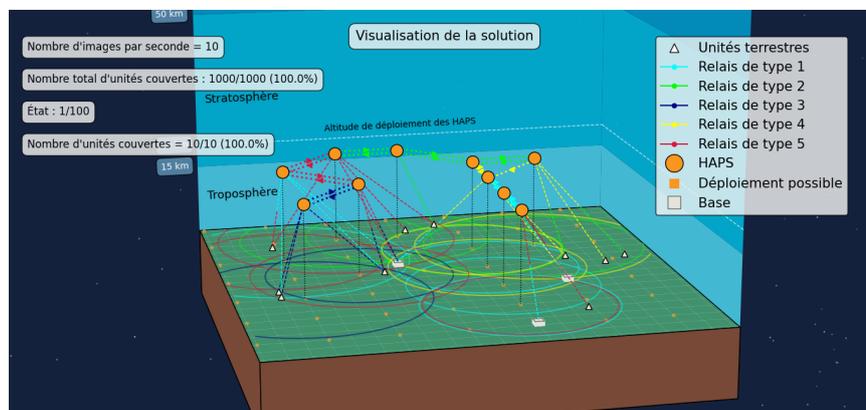


FIG. 1 – Exemple de solution pour le problème de niveau 2

Finalement, il s'agit ici d'un problème d'un nouveau genre dans les applications militaires de la recherche opérationnelle [3]. Plus précisément, ce problème résulte de la combinaison de plusieurs sous-problèmes : un problème de couverture maximale, un problème de localisation des installations [1] avec des contraintes de dimensionnement de capacité, et, enfin, un problème de sous-graphe connexe [2], avec des néanmoins des spécificités propres à l'application ici considérée.

Parmi les perspectives, nous retrouvons la prise en compte de l'aspect stochastique du problème, notamment dans le cas où l'on ne connaît pas les mouvements des unités avec exactitude. En effet, actuellement, nous nous plaçons dans le cas déterministe où nous connaissons tous les déplacements des unités sur l'horizon temporel. En outre, des travaux portants sur d'autres inégalités valides seront considérés afin d'améliorer la qualité de la relaxation linéaire. Plus particulièrement, l'introduction d'inégalités de types "cover" semble être une voie prometteuse pour notre problème.

## Références

- [1] Farahani et al., Covering problems in facility location : A review, *Computers & Industrial Engineering*, (62)368–407, 2012.
- [2] Álvarez-Miranda et al., The maximum weight connected subgraph problem, *Facets of Combinatorial Optimization*, 245–270, 2013.
- [3] Tozan et al., Operations research for military organizations, *IGI Global*, 2018.