

# Planification optimisée de maintenances d'aéronefs militaires

Philibert de Chastellux<sup>1</sup>, Nicolas Dupin<sup>1</sup>, Pierre Bazot<sup>1</sup>

DGA Centre d'Analyse Technico-Opérationnelle de la Défense, 16 bis Avenue Prieur de la Côte d'Or,  
94114 Arcueil, France

{philibert.de-chastellux,nicolas.dupin,pierre.bazot}@intradef.gouv.fr

**Mots-clés :** *optimisation, maintenances, PLNE, mathématiques.*

## 1 Présentation du problème

L'Armée de l'Air française est actuellement engagée sur de nombreux théâtres d'opérations, ce qui sollicite tout particulièrement les avions de combat. Une planification optimisée des activités aériennes et des opérations de maintenance est indispensable pour atteindre les objectifs opérationnels en respectant les contraintes réglementaires, financières, industrielles ...

Similairement au problème de maintenance des réacteurs nucléaires du Challenge ROADEF 2010 (nous référons à [1, 4]), il s'ensuit un problème d'optimisation à deux niveaux des maintenances/ affectations des missions et des heures de vols. Les maintenances des Mirage 2000 définissent un potentiel d'heures de vol (*butée horaire*) et une durée d'utilisation maximale (*butée calendaire*) pour le cycle de vols à venir. Les affectations des aéronefs en missions (entraînement, mission métropole et sur théâtre extérieur) impactent la consommation d'heures de vols des différents aéronefs. Le planning de maintenance doit garantir la réalisation des différentes missions, qui peuvent nécessiter des équipements ou versions spécifiques des aéronefs en nombres suffisants. Outre la réalisation des missions, il existe d'autres contraintes couplant les affectations des aéronefs. D'une part, les ressources industrielles pour effectuer les maintenances sont limitées, et il existe également des ressources limitées pour stocker des avions (ce qui permet de retarder les butées calendaires).

Ce problème diffère des problématiques des compagnies aériennes. D'une part les avions sont affectés à des bases et non sur des lignes aériennes ce qui ne fait pas intervenir de routage. D'autre part, les objectifs sont différents, les missions militaires sont intangibles alors que les compagnies civiles optimisent les routages et les capacités et remplissages des avions. La problématique militaire de maintenances d'aéronefs en maximisant la disponibilité des aéronef induit la classe de problèmes FMP (Flight and Maintenance Planning) déjà étudié dans [2, 6, 7]. Les FMP de la littérature concernent souvent des flottes d'hélicoptères, où les contraintes réglementaires et techniques diffèrent de celles des Mirage 2000 français. Comme algorithmes de résolution de FMP, [6] élabore un algorithme glouton, tandis que [7] utilise une résolution frontale PLNE. FMP admet plusieurs critères d'optimisation, nous référons à [2] pour une étude multi-objectif.

## 2 Modélisation PLNE

Des premiers travaux ont élaboré une modélisation PLNE, ce qui a permis d'itérer agilement avec l'Armée de l'air sur la définition des contraintes et des objectifs.

La modélisation PLNE du problème sans stockage présente des similarités avec [1, 4]. Les décisions de haut niveau sont les dates de maintenances, variables discrètes et indexées par le temps, tandis que les heures de vols, décisions de bas niveau, nécessitent des variables continues. La régénération d'heures de vol est déterminée par les maintenances, les heures de vols restantes du précédent cycles étant perdues, ce qui apporte une simplification par rapport

à [1, 4]. La différence majeure par rapport à [1, 4] est que les affectations de missions induisent des variables binaires dans les décisions de bas niveau. Des contraintes de durées minimales d'affectation en mission peuvent être écrites sans rajouter de variables binaires supplémentaires en utilisant la formulation de [5].

L'ajout de stockages est original par rapport à [7], et nécessite de nouvelles variables binaires. Les contraintes de durées minimales en stockage peuvent s'écrire avec la formulation de [5]. Pour avoir une formulation plus économe en variables binaires, l'hypothèse raisonnable d'avoir au plus une phase de stockage entre deux maintenances a été faite pour écrire la contrainte permettant au stockage de repousser les butées calendaires.

Différents critères d'optimisation peuvent être considérés: minimiser un coût financier, minimiser les heures de vols perdues aux butées calendaires, maximiser la robustesse du planning à des nouvelles missions ou des pannes, lisser les périodes de maintenances et les utilisations des avions autour de l'activité moyenne. La PLNE permet de considérer séparément chacun de ces objectifs précédents.

### 3 Résolution PLNE et heuristiques

Notre implémentation a utilisé OPL et Cplex version 12.6 pour les résolutions PLNE frontales et OPL script pour calculer successivement plusieurs PLNE. Les instances opérationnelles fournies par l'Armée de l'Air s'étendent sur un horizon maximal de 10 ans, avec une discrétisation au mois, pour un parc comportant au maximum une centaine d'avions.

La résolution PLNE s'est avérée plus difficile qu'escomptée en comparant aux résultats de [1]. Même sans stockage, la résolution PLNE est inefficace pour trouver des solutions réalisables sur les grandes instances. Avoir une majorité de variables binaires dans l'optimisation de bas niveau via l'affectation des missions est pénalisant pour les heuristiques primales de Cplex. Cela s'avérait également difficile sur la phase de preprocessing de Cplex, ce qui a nécessité des opérations manuelles de preprocessing avec OPL.

Pour aboutir à des solutions réalisables sur le modèle sans stockage, des heuristiques ont tout d'abord restreint la combinatoire PLNE par des preprocessing heuristiques, dont des stratégies de fixations de variables basées sur les relaxations continues. Cela a permis de pouvoir calculer des solutions primales pour toutes les instances, en nécessitant des temps de calculs encore trop longs pour le besoin de l'Armée de l'Air. Des stratégies gloutonnes permettent d'aboutir rapidement à de bonnes solutions.

Ayant une solution primale connue, l'hybridation de l'heuristique VNS (Variable Neighborhood Search) avec des voisinages PLNE, permet d'améliorer des solutions réalisables, comme utilisée dans [3, 1]. Différentes fixations de variables peuvent restreindre l'exploration de solutions, sur des tailles de voisinages où la résolution PLNE est efficace. Cette approche est générique, permettant de traiter les modèles avec ou sans stockage.

## References

- [1] Dupin, N.: Modélisation et résolution de grands problèmes stochastiques combinatoires: application à la gestion de production d'électricité. Ph.D. thesis, Lille 1 (2015)
- [2] Kozanidis, G., Skipis, A.: Flight and maintenance planning of military aircraft for maximum fleet availability: a biobjective model. In: 18th Internat Conf on Multiple Criteria Decision Making (2006)
- [3] Lazic, J., Hanafi, S., et al.: Variable neighbourhood decomposition search for 0-1 mixed integer programs. *Computers & OR* **37**(6), 1055–1067 (2010)
- [4] Lusby, R., Muller, L., Petersen, B.: A solution approach based on Benders decomposition for the preventive maintenance scheduling problem of a stochastic large-scale energy system. *J Sched* **16**(6), 605–628 (2013)
- [5] Rajan, D., Takriti, S.: Min-Up/Down Polytopes of the Unit Commitment Problem with Start-Up Costs. Tech. rep., IBM Research Report (2005)
- [6] Steiner, A.: A heuristic method for aircraft maintenance scheduling under various constraints. In: Proceedings of the 6th Swiss Transport Research Conference. Ancona, Italy (2006)
- [7] Verhoeff, M., Verhagen, W., Curran, R.: Maximizing operational readiness in military aviation by optimizing flight and maintenance planning. *Transportation Research Procedia* **10**, 941–950 (2015)