

# Optimisation 3D du chargement de conteneurs pour le transport aérien

Célia Paquay, Michaël Schyns, Sabine Limbourg

Université de Liège, HEC-Ecole de Gestion, QuantOM  
14, rue Louvrex, 4000 Liège (Belgique)  
{cpaquay,M.Schyns,Sabine.Limbourg}@ulg.ac.be

**Mots-clés :** *Bin-packing, cargo aérien, ULD*

## 1 Positionnement

De nos jours, décider comment remplir des conteneurs avec des colis est une activité courante aussi bien dans le domaine du transport routier qu'aérien. Ce type de question est apparentée aux problèmes de *Bin-Packing* (BPP) en recherche opérationnelle. En termes économiques, ces opérations doivent mener à une solution qui satisfait de nombreuses contraintes physiques, être réalisées rapidement et de sorte à maximiser certains critères. Typiquement, on tentera de charger un maximum de colis dans un minimum de conteneurs pour réduire les coûts.

Il existe dans la littérature différentes variantes du BPP appliquées directement à des problèmes de transport par avion ou assimilables ([1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 12, 13, 14]...). Le BPP peut être considéré en une, deux ou trois dimensions, avec un ou plusieurs conteneurs, avec des formes identiques ou différentes et en tenant compte de contraintes spécifiques imposées par l'opérateur ou par le moyen de transport. Une classification générale de problèmes de bin-packing peut être trouvée dans [5]. Le BPP est connu pour être de classe NP-Hard et les articles scientifiques présenteront dès lors la plupart du temps des heuristiques spécialisées s'attaquant à des problèmes particuliers. On retrouve également dans la littérature en transport aérien des problèmes connexes de type *Knapsack* pour lesquels on doit également déterminer les colis à placer dans le conteneur.

## 2 Objectifs et méthodologie

Dans cette recherche, nous nous intéressons au BPP en 3 dimensions, domaine plus récent et moins couvert dans la littérature ([3, 9, 12]). De plus, nous souhaitons inclure une série de contraintes spécifiques au transport aérien. Dans notre cas, les conteneurs sont appelés des *unit load devices* (ULD). Plus généralement, une ULD est un assemblage de composants dans un conteneur ou sur une palette couverte par un filet. Les ULDs sont standardisées de sorte à permettre un chargement et un déchargement rapide ([8]). La manière dont les ULDs seront chargées et leur nombre a dès lors un impact significatif sur la résolution du problème du chargement de ces ULDs dans un avion ([1, 6, 8, 10, 11]). Nous supposons que les colis peuvent se superposer dans un même ULD pour autant que des contraintes de stabilité et de fragilité soient respectées. Chaque colis, représenté par un parallélépipède, sera aligné aux parois du conteneur mais sans limite d'orientation. En d'autres termes, toutes les rotations de 90° pourront être considérées lors de la résolution. Nous imposerons des limites sur le poids total par ULD et une distribution la plus uniforme possible dans celui-ci. Cette dernière contrainte se justifie naturellement pour des raisons de manutention et est une hypothèse classique lors du chargement d'ULDs dans un avion. Nous considérons plusieurs ULDs. Le problème est dès lors à la fois de déterminer dans quelle ULD placer chaque colis (analogie avec le problème

knapsack), mais aussi où le placer dans l'ULD sélectionnée. Nous cherchons à minimiser l'espace inutilisé ou, en d'autres termes, à minimiser le nombre d'ULDs à utiliser.

Ceci est un travail en cours. Notre première contribution est de proposer un modèle mathématique pour représenter ce problème complexe. Cette étape est pratiquement terminée et sera présentée lors de la conférence. Nous souhaitons ensuite tester dans un premier temps des méthodes exactes de résolution de type Branch-and-cut. Une première ébauche d'un programme, basée sur un modèle pratiquement complet, a été écrite en Java. Ce programme fait appel aux libraires CPLEX pour les phases d'optimisation. Il a été testé avec succès sur des exemples de très petite taille. Cependant, vu le nombre de variables et de contraintes dans le modèle complet, vu la nature hautement combinatoire du problème, nous n'écartons pas que nous devons également ensuite considérer des heuristiques pour traiter des problèmes de grande taille. Nous comptons tester ces méthodes sur des données réelles obtenues auprès de nos partenaires industriels. A terme, nous espérons pouvoir intégrer tous ces résultats dans notre système de chargement automatique d'avion OPAL, introduit lors de ROADEF 2011.

## Références

- [1] Amiouny, S.V., Bartholdi, J.J., Vande Vate, J.H and Zhang, J. (1992). Balanced loading. *Operations Research*, Vol. 40, n.2, pp. 238–246.
- [2] Chan, F.T.S. and Kumar, N. (2006). A new heuristic embedded approach for multi-constraint air-cargo loading problem. *Proceedings of the 4th International IEEE International Conference on Industrial Informatics*, pp. 1165–1170.
- [3] Chen, C.S., Lee, S.M. and Shen, Q.S. (1995) An analytical model for the container loading problem. *European Journal of Operational Research*, Vol. 80, pp. 68–76.
- [4] Davies, A.P. and Bischoff, E.E. (1999). Weight distribution considerations in container loading. *European Journal of Operational Research*, Vol. 114, pp. 509–527
- [5] Dyckhoff, H. (1990) A typology of cutting and packing problems *European Journal of Operational Research* Vol. 44, pp. 145–159
- [6] Fok, K. and Chun A. (2004). Optimizing Air Cargo Load Planning and Analysis. *Proceedings of the International Conference on Computing, Communications and Control Technologies*, Austin, Texas, USA.
- [7] Junqueira, L. et al. (2010). Three-dimensional container loading models with cargo stability and load bearing constraints. *Computers and Operations Research*, doi :10.1016/j.cor.2010.07.017
- [8] Limbourg, S., Schyns, M., and Laporte, G. (2011). Automatic Aircraft Cargo Load Planning. *Journal of the Operations Research Society*
- [9] Martello, S., Pisinger, D. and Vigo, D. (2000). The three-dimensional bin packing problem. *Operations Research*, Vol. 48, n. 2, pp. 256–267
- [10] Mongeau, M. and Bès, C. (2003). Optimization of Aircraft Container Loading, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 39, pp. 140–150.
- [11] Souffriau, W., Demeester, P. and Vanden Berghe, G. and De Causmaecker, P. (2008). The Aircraft Weight and Balance Problem. *Proceedings of ORBEL 22*, Brussels, pp. 44–45.
- [12] Terno, J., Scheithauer, G., Sommerweiss, U., and Riehme, J. (2000). An efficient approach for the multi-pallet loading problem. *European Journal of Operational Research*, Vol. 123, pp. 372–381
- [13] Wu, Y. (2010). A dual-response forwarding approach for containerizing air cargoes under uncertainty, based on stochastic mixed 0-1 programming. *European Journal of Operational Research*, Vol. 207, pp. 152–164
- [14] Zhang, D., Peng, Y. and Leung S.C.H. (2011). A heuristic block-loading algorithm based on multi-layer search for the container loading problem. *Computers and Operations Research*, doi :10.1016/j.cor.2011.10.019