

# Une méthode de recherche à grand voisinage pour la gestion des perturbations dans le domaine aérien

S. Bisailon<sup>1</sup>, J.-F. Cordeau<sup>1</sup>, G. Laporte<sup>1</sup>, and F. Pasin<sup>1</sup>

HEC Montréal and CIRRELT  
serge.bisailon@cirrelt.ca

Cet article décrit le travail réalisé par notre équipe dans le cadre du challenge ROADEF 2009. La méthode que nous avons élaborée pour résoudre ce problème très complexe comprend plusieurs phases pour en traiter efficacement les divers aspects. Les phases principales sont la construction, la réparation ainsi que l'amélioration de solutions initiales. Notre programme itère entre ces trois phases jusqu'à ce que le temps imparti soit écoulé.

## 1 Construction

Tout d'abord, nous cherchons à construire des solutions réalisables en ce qui a trait aux contraintes opérationnelles et fonctionnelles décrites à la section 6 du document. Pour ce faire, nous commençons par ordonner aléatoirement les appareils afin de les traiter selon un ordre différent à chaque itération. Ensuite, à partir du programme de vols original, nous retirons des séquences de vols jusqu'à ce que toutes les contraintes soient respectées. Pour retirer ces séquences, nous procédons comme suit.

Nous prenons chaque appareil, un à la fois, et nous vérifions si la séquence originale, à laquelle nous avons ajouté les perturbations, reste valide, et ce vol par vol. Dès qu'un vol perturbé fait en sorte d'invalider la séquence, nous retirons la plus petite sous-séquence de vols qui forme une boucle (dont l'aéroport d'arrivée du dernier vol correspond à l'aéroport de départ du premier vol) et la conservons en mémoire pour tenter de la réinsérer ailleurs plus tard. Si la boucle retirée survient avant le moment où le vol critique devait avoir lieu, alors nous essayons d'annuler dans la mesure du possible, les retards accumulés par les vols qui se trouvent entre la séquence annulée et le vol à réinsérer pour voir s'il y a possibilité d'accommoder ce vol. Nous recommençons tant que nous n'avons pu insérer le vol de façon satisfaisante ou qu'il n'y ait plus de boucle à retirer. Dans ce dernier cas, nous tentons de réinitialiser tous les vols précédant le vol courant (donc en annuler les retards non nécessaires) et plaçons le vol courant au premier moment possible qui ne contrevienne pas aux contraintes de maintenance des appareils, et ce, même si ça contrevient temporairement aux capacités aéroportuaires. Dans le cas où certaines capacités seraient violées, cela sera corrigé dans la phase subséquente (réparation de la solution).

## 2 Réparation

Dans cette phase de réparation de la solution, on repasse chacun des appareils dans le même ordre que dans la phase de construction et on cherche à faire en sorte de rendre la solution réalisable en termes des capacités aéroportuaires. Car il se peut qu'à la construction, nous ayons dû laisser des vols à leur horaire initial même si les capacités ne le permettaient

pas, du fait que l’annulation du reste de la séquence originale n’aurait pas permis de terminer la rotation au bon aéroport. Cependant, nous avons remarqué, qu’il y a presque toujours un autre appareil dont les vols partagent les mêmes origine ou destination qui posent problème à une période donnée mais qui peuvent être déplacés sans compromettre la réalisabilité. C’est ce que nous tentons de faire dans cette phase.

Aussi, dans le but ultime de respecter les contraintes qui se rapportent aux itinéraires, dès qu’un vol est retiré, nous annulons tous les itinéraires qui transitaient par ce vol. Ainsi, la solution initiale que nous obtenons à la fin des phases de construction et de réparation est largement sous-optimale, mais au moins elle respecte toutes les contraintes du problème.

### 3 Amélioration

Une fois que nous avons construit ce qui nous sert de solution initiale, nous tentons de l’améliorer par des moyens simples mais rapides. Tout d’abord, nous tentons de voir s’il est possible d’ajouter des vols dont les caractéristiques correspondent le plus possible à ceux qui ont dû être annulés directement à cause des inscriptions en ce sens dans le fichier `alt_flights.csv`. Nous tentons aussi à ce moment de réinsérer les segments de vols préalablement retirés. Ayant pris en note tous les intervalles de temps (entre deux vols) suffisamment grands pour chaque appareil, nous tentons d’y insérer les segments de vol de façon gloutonne (dès qu’un segment peut être inséré sans problème, on réalise ce mouvement, sans vérifier s’il irait mieux ailleurs). Nous avons noté que ce genre de mouvement permettait d’améliorer sensiblement la valeur de la solution sans que ce ne soit très coûteux en termes de temps de calcul.

À chaque fois que nous avons achevé une phase importante d’altération du programme de vols, nous tentons de réacommoder les passagers laissés en plan en résolvant à répétition un algorithme de plus court chemin (PCC) en commençant par réaffecter les passagers dont le coût de pénalité en cas de non-affectation est le plus grand. Si le PCC réussit à trouver un itinéraire qui respecte la capacité résiduelle des appareils ainsi que les contraintes de correspondance, de départ et d’arrivée pour un certain nombre de ces passagers, alors nous créons un nouvel itinéraire pour ces passagers, et nous tentons de réaffecter les autres sur un autre itinéraire. Dans le cas contraire, les passagers non réacommodés restent dans une liste pour que nous puissions tenter de les réaffecter plus tard.

Après la phase de réaffectation des passagers, nous tentons de décaler (retarder) des vols, dans l’espoir de pouvoir réacommoder encore plus de passagers dont les problèmes de correspondance pourraient alors être résolus. Pour ce faire, nous prenons encore une fois chaque appareil, un à un, et nous tentons de décaler leurs vols d’un certain intervalle de temps. Pour chaque vol de chaque appareil, nous essayons diverses périodes de retard et dès que nous obtenons un changement qui ne cause aucune annulation de vols, nous vérifions s’il y a moyen d’améliorer la meilleure solution en tentant de réaffecter des passagers. Évidemment, lorsque nous retardons un vol, nous retardons ensuite chacun des vols de la séquence subséquente pour cet appareil tant qu’il est nécessaire, pour respecter les contraintes. Ce faisant, il se peut que nous devions annuler certains itinéraires dont la continuité ne serait plus possible.

Quand cette descente (phase d’amélioration locale) ne permet plus aucune amélioration possible ou que le temps qui lui est imparti est écoulé, nous mettons à jour la meilleure solution globale et nous recommençons le processus de construction avec diversification. Pour

ce faire, nous opérons une série de permutations sur la meilleure solution globale et nous poursuivons avec le retrait des séquences de vols. À l'occasion, nous pouvons même décider qu'il est préférable de repartir à zéro avec un autre ordonnancement aléatoire des appareils si la solution globale ne s'améliore pas assez rapidement.