

Challenge ROADEF 2009 : gestion de perturbations dans le domaine aérien

M. Palpant, M. Boudia, C.-A. Robelin, S. Gabteni, F. Laburthe

Amadeus S.A.S., Operations Research Division,
485 route du pin montard 06902 Sophia Antipolis Cedex
mireille.palpant@amadeus.com, mourad.boudia@amadeus.com,
charles-antoine.robelin@amadeus.com, semi.gabteni@amadeus.com,
francois.laburthe@amadeus.com

1 Introduction

Les compagnies aériennes commerciales opèrent leurs vols selon un programme de vols publié, optimisé du point de vue des revenus générés. Cependant, il est fréquent que des événements extérieurs, tels des pannes mécaniques, une grève du personnel, ou des conditions météorologiques défavorables, viennent en perturber le bon déroulement. Dans de tels cas, il s'agit de trouver des solutions performantes permettant d'absorber la perturbation en un temps minimum et, de fait, d'en minimiser l'impact.

De façon traditionnelle, les ressources sont réaffectées au cours d'un processus séquentiel selon l'ordre hiérarchique naturel : flotte d'appareils, équipages, passagers. Cependant, cette méthodologie présente de sérieuses lacunes. En effet, la prise de décision au niveau local, concernant une ressource, peut avoir une répercussion globale, sur l'ensemble des ressources. Ainsi, une modification du programme de vols, impactant potentiellement les appareils de la flotte, peut également conduire à une impossibilité de correspondance pour un équipage ou un ensemble de passagers. En conséquence, un nombre croissant de travaux se consacrent à l'intégration des différents niveaux de décision. Le sujet proposé dans le cadre de ce challenge s'inscrit dans ce contexte en cherchant, en cas de perturbations, à réaffecter de façon simultanée la flotte d'appareils et les passagers.

2 Le programme de vols

Un programme de vols représente l'ensemble des vols réalisés par une compagnie aérienne sur une période donnée. Chaque vol est défini par :

- un *numéro de vol* ;
- des aéroports d'origine et de destination, lesquels déterminent la *longueur* et le *type* du vol (*domestique*, *continental* ou *international*). Dans le cadre de ce challenge, nous ramènerons la longueur d'un vol à sa *durée*, laquelle est considérée comme constante ;
- des *dates et heures de départ et d'arrivée*.

La séquence des vols successifs alloués à un appareil est appelée *rotation*. Une rotation vérifie trivialement la *continuité* des opérations : l'aéroport d'origine d'un vol correspond à l'aéroport de destination du vol précédent et sa date de départ est postérieure à la date d'arrivée de ce dernier augmentée du *temps de réengagement* de l'appareil, *i.e.* le temps minimum de préparation de l'appareil pour le nouveau vol : débarquement/embarquement des passagers, nettoyage de l'appareil, changement éventuel d'équipage. La Figure 1 représente un exemple de rotation.

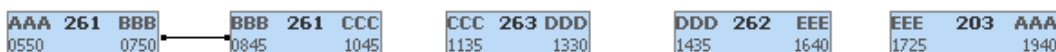


FIG. 1. Une rotation

Sur cet exemple, nous constatons deux vols possédant le même numéro. Il s'agit en fait d'un vol multi-tronçon qui doit être opéré par un appareil unique, à moins d'une défaillance mécanique

à l'aéroport d'escale. Cette configuration possède l'avantage de potentiellement réduire le temps de préparation nécessaire à la réalisation du vol suivant, qui est alors appelé *temps de transit*.

Dans un souci de clarification, chaque vol sera associé à un numéro de vol unique, le cas du vol à escale étant ramené à l'établissement d'une liaison entre vols : ainsi, le vol multi-tronçon 261 ci-dessus correspondra à deux vols distincts, par exemple 2611 et 2612, et une information additionnelle indiquera la présence d'une liaison entre ces deux vols.

Afin de prendre en compte toute la complexité du problème, des vols additionnels (de type *proximité*), correspondant à des acheminements par transport public hors aérien, seront ajoutés au programme de vols classique. Ces "vols" supplémentaires seront opérés par des appareils dédiés et il ne sera pas possible de les modifier.

3 Les différents acteurs du problème

3.1 Les aéroports

L'ensemble des destinations couvertes par une compagnie définit le *réseau* de cette dernière. Chaque destination correspond à un aéroport possédant des caractéristiques bien définies, notamment des limitations sur le nombre d'arrivées et de départs pouvant être pris en charge simultanément, ainsi que sur le nombre maximal d'appareils au sol (*capacités aéroportuaires*). Cependant, afin de limiter la complexité du problème proposé, le paramètre de capacité au sol est ignoré. Chaque aéroport est ainsi uniquement associé à des capacités horaires de décollages et atterrissages, sans considérer de fenêtres glissantes. Pour chaque intervalle $[H, H+1[$, le nombre de départs et d'arrivées devra respecter les capacités aéroportuaires. La Figure 2 illustre ce concept pour un aéroport pouvant prendre en charge trois décollages par heure.

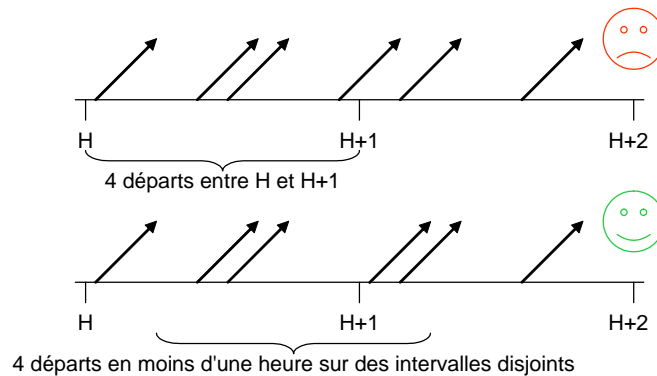


FIG. 2. Cas de figures violant (haut) et respectant (bas) la capacité aéroportuaire

3.2 La flotte

Une flotte est constituée par l'ensemble des appareils qu'une compagnie aérienne opère. Chaque appareil est défini par :

- un *numéro de série* unique ;
- un *modèle* (Boeing 747, A320, ...);
- une *configuration* de sièges, c'est-à-dire la répartition des sièges dans chaque *cabine* (first, business, éco). La configuration peut dans certains cas être modifiée; cependant, dans le cadre de ce challenge, nous considérerons qu'elle est fixe pour un appareil donné.

Un modèle donné est associé à des caractéristiques opérationnelles qui sont communes à l'ensemble des appareils de ce modèle : temps de réengagement et de transit, *distance maximale franchissable*, ensemble de configurations possibles.

Des sous-ensembles d'appareils possédant des caractéristiques communes sont regroupés au sein de *familles* (par exemple les modèles A318, A319, A320 et A321 de la famille AirbusSmall). L'intérêt

principal de ces familles réside dans le fait que leurs équipages sont aisément inter-changeables (commandes de pilotage identiques).

En dehors de son utilisation normale, un appareil peut être également amené à subir une *maintenance*. Ces opérations d'assez grande envergure nécessitent des moyens humains et matériels conséquents et peuvent induire une indisponibilité prolongée de l'appareil (stationnement dans l'aéroport prévu pour la maintenance pendant toute la durée des opérations). De plus, un avion ne peut également pas excéder plus d'un certain nombre d'heures de vol avant la date de sa maintenance (*potentiel de vol*).

3.3 Cas des aéroports desservant une même ville

Afin d'assurer la liaison entre aéroports d'une même ville, un service de transport public terrestre (bus, train, etc.) est proposé. Ce transport est modélisé par des vols fictifs, définis et opérés par une flotte spéciale d'appareils (TranspCom). Cette dernière est composée d'appareils de capacité illimitée dans chacune des cabines, et dont le coût horaire est nul.

3.4 Les équipages

Les équipages sont répartis en deux catégories : les personnels navigants techniques (pilotes et co-pilotes) et commerciaux (hôtesses et stewards). Chaque appareil nécessite l'affectation d'un certain nombre de personnels des deux types en vue d'opérer un vol. Le nombre varie en fonction du modèle et de la configuration de l'appareil considéré.

La gestion des équipages dans le traitement des perturbations est une tâche importante. Cependant, et pour mieux cerner le sujet, elle n'est pas intégrée au problème proposé ici.

3.5 Les passagers

Les passagers effectuent des réservations sur les vols proposés par la compagnie aérienne. Une réservation est définie par les éléments suivants :

- un *numéro de réservation* unique ;
- le *nombre de personnes* concernées par la réservation ;
- le *prix moyen* payé par passager ;
- la description de l'itinéraire, composé d'un ou plusieurs vols, associé chacun à une cabine ;
- le *caractère aller* ou *retour* du trajet. Dans le cadre du challenge, un "aller" correspond à un aller simple ou à la portion aller d'un aller/retour dont le retour sera effectué après l'horizon de planification, et un "retour" correspond à la portion retour d'un aller/retour dont l'aller a été effectué à une date antérieure.

4 Formalisation du problème

Le problème étudié vise à rétablir l'ordre normal des opérations en cas de perturbation ayant une incidence sur le programme de vols défini, et ce, dans les délais les plus brefs possibles. Il est primordial que le programme de vols initial soit rétabli à l'issue d'une période bien déterminée appelée *fenêtre de recouvrement* (ou *période de recouvrement*). Ainsi, il s'agit de générer un nouveau programme de vols pour la période définie par la fenêtre de recouvrement et, par conséquent, déterminer la rotation de chacun des appareils de la flotte. Le programme de vols proposé doit minimiser les coûts induits et les impacts éventuels sur les passagers.

La nature des incidents variant selon la perturbation rencontrée, les cas suivants doivent être gérés :

- retard de vol. Les facteurs déclenchants peuvent être un temps d'embarquement allongé, une grève des personnels au sol, un temps de préparation de l'appareil augmenté, l'attente d'un équipage ou d'un passager en correspondance ;
- annulation de vol ;
- indisponibilité d'un appareil pour une période déterminée. Aucun vol ne peut lui être affecté pendant toute la durée de son indisponibilité ;

- réduction du nombre de vols opérés sur un intervalle de temps donné. Ce cas de figure apparaît lors de conditions météorologiques défavorables (réduction du nombre de départs/arrivées aux aéroports) ou lors d’une grève du personnel (réduction du nombre de vols pour cause de sous-effectif).

Le nouveau programme de vols résulte de la prise d’un certain nombre de décisions quant aux vols du programme initial : *annulations* et *retards* intentionnels, *changements d’appareil* au sein de la même famille et *créations* éventuelle de nouveaux vols.

Les critères de décision concernent essentiellement la minimisation des coûts pour la compagnie, aussi les modifications du programme de vols peuvent-elles être effectuées aux dépens des passagers. Afin de pallier cette lacune, un critère de minimisation de la *désutilité* des passagers est intégré à la prise de décision.

Les passagers sur les vols *impactés* (vols du programme initial subissant un changement) rencontrent potentiellement des perturbations, qui nécessitent leur *réacommodation* sur un nouvel itinéraire ou l’*annulation* de leur voyage. Ces modifications d’itinéraire sont évaluées, non plus seulement en termes de coûts de retard ou d’annulation, mais aussi de confort. Elles peuvent conduire de façon rétro-active à une nouvelle adaptation du programme de vols afin de limiter les désagréments occasionnés pour les passagers.

Le problème proposé est donc bien un problème d’optimisation bi-critères, où il s’agit de trouver un *compromis* entre coûts et qualité de service.

5 Objectifs

La fonction d’optimisation intègre des paramètres liés aux coûts ou gains induits par le nouveau programme de vols (coûts opérationnels des nouveaux vols créés, déduction des coûts opérationnels pour les vols annulés, coûts liés aux retards et annulations des vols du programme initial) ainsi qu’une mesure de la désutilité des passagers. Elle s’attache à minimiser une somme pondérée de ces différents facteurs.

5.1 Coûts opérationnels

Les coûts opérationnels incluent l’ensemble des frais liés à la réalisation d’un vol :

- coûts d’exploitation de l’appareil (fuel, maintenance, personnel), qui varient en fonction du modèle de l’appareil et de la durée du vol (représentant la durée totale de porte à porte) ;
- coûts de services (service au sol, location des portes, des emplacements de parking).

Pour le challenge, nous estimerons ces coûts uniquement en fonction du type d’appareil, par heure de vol. Ces coûts seront donc indépendants du nombre de passagers embarqués et du retard éventuel. En cas d’annulation d’un vol prévu par le programme initial de vols, les coûts opérationnels décrits ci-dessus doivent être déduits de la fonction d’optimisation.

Le schéma proposé pour les coûts de retard et d’annulation est inspiré de la réglementation européenne :

- rafraîchissements et repas pris en charge par la compagnie pour un retard supérieur à deux heures sur un trajet d’une durée (initialement prévue) strictement inférieure à deux heures, trois heures sur un trajet d’une durée supérieure ou égale à deux heures et strictement inférieure à quatre heures et trente minutes, quatre heures sur un trajet d’une durée supérieure ou égale à quatre heures et trente minutes. Pour le challenge, nous estimerons ces coûts à 15 euros par passager ;
- en sus des compensations précédentes, prise en charge de la nuit d’hôtel éventuelle pour un retard supérieur à cinq heures. Pour le problème étudié, le prix d’une nuit d’hôtel sera fixé à 60 euros par passager ;
- quelle que soit la durée de l’itinéraire, remboursement du prix du billet en cas d’annulation, et compensation financière variable. Le montant de la compensation par passager est de 250 euros pour un trajet d’une durée (initialement prévue) strictement inférieure à deux heures, 400 euros pour un trajet d’une durée supérieure ou égale à deux heures et strictement inférieure à quatre heures et trente minutes, 600 euros au-delà.

Si le trajet est composé d’un seul vol, la durée initialement prévue du trajet est la durée de ce vol, telle que donnée par le programme initial de vols. Si le trajet est composé de plusieurs vols,

la durée du trajet est définie comme la somme des durées (telles que données par le programme initial de vols) de ces vols. Les temps de correspondance sont exclus.

5.2 Modélisation du ressenti passager

La désutilité d'un passager modélise le ressenti passager, indépendamment des compensations que ce dernier peut éventuellement toucher en cas de perturbation sur son itinéraire initial. Cette mesure abstraite est ramenée à une valeur de coût, exprimée en euros, qui est fonction du retard global à l'arrivée constaté sur l'itinéraire initial (le cas échéant, de l'annulation du voyage) et intègre une pénalité en cas de *déclassement* (passage à une cabine inférieure sur tout ou partie de l'itinéraire).

En cas d'itinéraire composé de plusieurs vols, la cabine de réservation la plus élevée tient lieu de *cabine de référence* (c'est-à-dire que tous les coûts seront calculés en fonction de cette cabine). De même, le type de l'itinéraire est défini comme le type du vol le plus long (international > continental > domestique).

Le coût de retard, calculé sur la base du retard global à l'arrivée, est une fonction linéaire dont la pente varie suivant le type de l'itinéraire et sa cabine de référence. De façon similaire, les coûts d'annulation sont des constantes qui dépendent de ces mêmes paramètres. Le coût d'annulation d'un voyage est nettement supérieur au coût de retard maximal sur ce même voyage, et il est de plus prohibitif dans le cas d'un itinéraire retour.

Les coûts de déclassement sont calculés vol par vol, sur les vols du nouvel itinéraire, seulement en cas de réacommodation. Ils dépendent, pour chaque vol, du type du vol et de la nature du déclassement (différence entre la cabine de référence de l'itinéraire et la cabine dans laquelle le passager voyage sur ce vol).

Considérons l'exemple d'un passager réservé sur Nice-Paris (domestique en cabine éco), puis Paris-Bangkok (international en cabine business). La cabine de référence est donc business et le trajet est de type international. Les cas suivants peuvent être rencontrés :

- le voyage du passager est annulé : il est compensé à hauteur des coûts d'annulation d'un trajet international en cabine business ;
- le passager est réacommodé en éco sur un Nice-Paris partant plus tard mais lui permettant d'assurer sa correspondance : les coûts de déclassement de cabine business à éco s'appliquent au tarif domestique (même s'il était déjà en cabine éco sur le Nice-Paris) ;
- le passager est surclassé en first sur le Paris-Bangkok suivant : les coûts associés au retard sont calculés au tarif international en cabine business (cabine de référence). Malgré le surclassement sur le second vol, un coût de déclassement de business à éco sur son Nice-Paris initial doit être pris en compte (*cf.* cas précédent) ;
- le passager transite par Londres au lieu de Paris (premier vol en continental au lieu de domestique) : les coûts de déclassement éventuels sur le Nice-Londres sont exprimés en fonction du tarif continental.

Considérons enfin l'exemple d'un passager réservé sur Nice-Paris en éco, puis Paris-Bangkok en first, et le cas extrême suivant, où le passager est réacommodé sur trois vols : Nice-Londres (continental) en éco, Londres-Francfort (continental) en business, et Francfort-Bangkok (international) en first. Les coûts éventuels de retard sont calculés au tarif international en first. Le coût global de déclassement est la somme des coûts de déclassement s'appliquant sur les deux premiers vols : déclassement de first à éco, puis de first à business, sur vol continental.

5.3 Reprise normale du programme de vols

Finalement, la fonction objectif intègre des pénalités en cas de non-respect des contraintes de *positionnement des appareils* à la fin de la période de recouvrement. En effet, les opérations doivent tendre vers un retour à la normale à la fin de cette période.

Pour ce faire, des contraintes additionnelles sont ajoutées au problème afin d'assurer la reprise normale du programme de vols initial à l'issue de la période de recouvrement. Ces contraintes stipulent pour chaque aéroport le nombre d'appareils de chaque modèle et chaque configuration qui doivent y être positionnés à la fin de la période afin d'assurer les vols de la période suivante. Seuls sont pris en compte les appareils qui ont effectivement atterri à l'aéroport considéré, c'est-à-dire que l'on exclut les appareils toujours en vol, se posant après la date de fin de la période.

La violation d'une telle contrainte empêche la reprise normale des opérations et fait ainsi l'objet d'une pénalité dans l'expression de la fonction objectif. La valeur de la pénalité dépend de la nature de la violation :

- nulle pour chaque appareil requis sur un aéroport donné pouvant être associé à un appareil identique (mêmes modèle et configuration) effectivement présent sur ce même aéroport à la fin de la période de recouvrement ;
- C_config pour chaque appareil requis pouvant être associé à un appareil de même modèle, mais de configuration différente, effectivement présent ;
- C_model pour chaque appareil requis pouvant être associé à un appareil de même famille, mais de modèle différent, effectivement présent ;
- C_family pour chaque appareil requis ne pouvant pas être associé à un appareil de même famille.

Chaque appareil effectivement présent sur un aéroport à la fin de la période de recouvrement ne peut être associé qu'à un seul appareil requis sur ce même aéroport.

5.4 Formulation

De façon synthétique, la fonction objectif peut s'exprimer sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} \min \alpha & \left(\sum_{f \in Created} C_{op}^f - \sum_{f \in Cancelled_F} C_{op}^f + \sum_{p \in Delayed} C_{delay_legal}^p + \sum_{p \in Cancelled_P} C_{cancel_legal}^p \right) \\ & + \beta \left(\sum_{p \in Delayed} C_{delay_pax}^p + \sum_{p \in Cancelled_P} C_{cancel_pax}^p + \sum_{p \in Downgraded} C_{down}^p \right) \\ & + \gamma \sum_{a \in Airports} (NbFamily^a \times C_{family} + NbModel^a \times C_{model} + NbConfig^a \times C_{config}) \end{aligned}$$

où :

- *Created* est l'ensemble des vols nouvellement créés, *Cancelled_F*, l'ensemble des vols annulés ;
- *Delayed* est l'ensemble des passagers retardés, *Cancelled_P*, l'ensemble des passagers dont le voyage est annulé, *Downgraded*, l'ensemble des passagers subissant un déclassement. Bien que les données soient décrites par flux (agrégat des passagers par itinéraire), la réacommodation peut être individuelle, avec des coûts individuels ;
- *Airports* est l'ensemble des aéroports du réseau ;
- par rapport aux exigences des contraintes de bon positionnement, $NbFamily^a$ est le nombre d'appareils ne pouvant être appariés à des appareils de même famille sur l'aéroport a , $NbModel^a$, le nombre d'appareils ne pouvant être appariés à des appareils de même modèle sur l'aéroport a et finalement, $NbConfig^a$, le nombre d'appareils ne pouvant être appariés à des appareils identiques sur l'aéroport a ;
- C_{op}^f est le coût opérationnel du vol f (dépendant de l'appareil d'affectation), $C_{delay_legal}^p$, le coût de retard du passager p (fonction de la durée du voyage et du retard éprouvé) et $C_{cancel_legal}^p$, le coût d'annulation du voyage du passager p (prix du billet et compensation additionnelle dépendant de la durée du voyage) ;
- $C_{delay_pax}^p$, $C_{cancel_pax}^p$ sont les coûts de retard et d'annulation de voyage du passager p , dépendant du type de l'itinéraire et de la cabine de référence et, respectivement, du retard constaté et du caractère aller ou retour du trajet ;
- C_{down}^p est le coût de déclassement global du passager p , c'est-à-dire la somme des coûts de déclassement sur chaque vol composant l'itinéraire. Sur chaque vol, le coût de déclassement dépend du type du vol et de la nature du déclassement (différence entre cabine de référence de l'itinéraire et cabine dans laquelle le passager voyage effectivement sur ce vol) ;
- comme expliqué précédemment, C_{family} , C_{model} et C_{config} sont les pénalités pour mauvais positionnement, relativement aux familles, aux modèles et aux configurations, respectivement ;
- α , β et γ sont les coefficients de pondération des différents facteurs de coûts dans la fonction objectif : coûts additionnels d'exploitation, coûts modélisant le ressenti passager, et pénalités pour mauvais positionnement, respectivement.

6 Contraintes du problème

6.1 Opérationnelles

Le problème consistant en une version simplifiée du problème réel, nous considérons que l'ensemble des aéroports peut accueillir tous les types d'appareils. De plus, toutes les contraintes liées aux équipages sont ignorées. Cependant, afin d'assurer une meilleure compatibilité des modifications vis-à-vis des contraintes d'équipages, un remplacement de l'appareil affecté à un vol donné ne peut se faire que par un appareil de la même famille que l'appareil initial.

Les contraintes concernant les appareils et aéroports, ainsi que les itinéraires et rotations, doivent quant à elles être vérifiées, à savoir le respect des *capacités des cabines des appareils*, des *maintenances*, des *capacités aéroportuaires*, des *temps minimum de correspondance*, et des *temps minimum de réengagement* (ou de *transit*, dans le cas de deux vols liés), respectivement.

La contrainte de capacité des cabines implique que, sur chaque vol, le nombre des passagers voyageant dans chacune des cabines ne doit pas excéder la capacité en nombre de sièges de cette cabine. Ce nombre est donné par la configuration de l'appareil qui opère le vol.

La contrainte de maintenance implique pour un appareil donné de ne pas excéder un certain nombre d'heures de vol entre le début de la période de recouvrement et sa date de maintenance. Il doit de plus être positionné à l'aéroport indiqué à la date fixée pour sa maintenance, et sera indisponible pendant toute la durée correspondante.

La contrainte sur les capacités aéroportuaires impose une limite sur le nombre de départs et d'arrivées possibles (hors vols fictifs correspondant au transport non aérien) par créneau horaire à un aéroport donné. Elle amalgame un certain nombre de contraintes opérationnelles (disponibilité des portes, des emplacements de parking, du personnel au sol...) et consiste donc en une version simplifiée de la réalité.

La contrainte de temps minimum de correspondance doit être vérifiée pour tous les itinéraires passagers : deux vols consécutifs sur un itinéraire donné doivent être séparés par au moins 30 minutes à l'aéroport de correspondance. Ceci s'applique également aux correspondances de/vers les "vols" de type transport terrestre.

De façon analogue, la contrainte de temps minimum de réengagement (ou de transit, le cas échéant) doit être vérifiée pour toutes les rotations des appareils : deux vols consécutifs sur une rotation donnée doivent être séparés par un temps minimum correspondant au temps de réengagement (ou de transit) de l'appareil opérant la rotation.

Finalement, les "vols" de type transport terrestre ne doivent subir aucune modification, pas plus que les appareils qui les opèrent. Ils n'interviennent en outre pas lors de la vérification des contraintes de capacités aéroportuaires.

6.2 Fonctionnelles

Les réacommodations des passagers sur de nouveaux itinéraires sont soumises aux règles suivantes :

- les passagers doivent être réacommodés en conservant l'origine et la destination de leur itinéraire initial. Si cela s'avère impossible, le voyage doit être annulé ;
- les itinéraires de remplacement ne doivent en aucun cas débiter avant l'heure du premier vol de l'itinéraire initial ;
- les passagers en correspondance (ayant déjà débuté leur voyage à l'instant courant) ou sur un itinéraire retour doivent être réacommodés en priorité. Il est en effet impératif de les acheminer jusqu'à leur destination, sous peine de pénalités très élevées ;
- le retard global maximal constaté sur l'itinéraire initial ne doit pas excéder 18 heures pour un vol domestique ou continental, 36 heures pour un vol international, excepté pour les passagers mentionnés au point précédent. Dans le cas contraire, le voyage doit être annulé.

Les vols arrivés ou déjà partis en début de période de recouvrement (dont l'heure de départ indiquée dans le programme initial de vols est strictement antérieure au début de la période de recouvrement) ne peuvent pas être altérés. Ils interviennent cependant lors de la vérification des contraintes de capacités aéroportuaires et également pour le calcul des coûts de la fonction objectif. Pour les passagers arrivés ou déjà partis en début de période de recouvrement, la partie de leur itinéraire

précédant le début de la période ne peut être modifiée. Les coûts éventuels s'appliquant à ces passagers doivent être inclus dans la fonction objectif.

La durée de la période de recouvrement peut varier selon les instances. Elle concerne généralement une journée unique (de l'instant courant jusqu'à minuit), mais peut également s'étaler sur plusieurs jours.

7 Modalités du challenge

Le site du challenge (<http://challenge.roadef.org>) reprend les modalités décrites dans le présent document. Nous invitons les candidats à la consulter régulièrement : livraison des données, FAQ, etc.

7.1 Les types d'instances

Amadeus fournira plusieurs jeux d'instances aux candidats au fur et à mesure de l'avancée du challenge. Les données sont partiellement inspirées d'informations publiques relatives aux horaires de vols. Celles-ci seront mises à disposition des candidats sur la base des livraisons suivantes :

- le premier jeu d'instances (Base A) est fourni aux candidats dès le début du challenge et complété pendant la phase de qualification, et au plus tard jusqu'à la date limite d'inscription. Cette base arbitrera la sélection des candidats pour la finale ;
- le second jeu d'instances (Base B) sera disponible à l'issue de la phase de qualification. Il proposera des problèmes plus ardues à résoudre que le jeu de test précédent et permettra aux candidats qualifiés d'affiner davantage leurs méthodes.
- le dernier jeu d'instances (Base X) permettra d'établir le classement des finalistes avant le début du congrès ROADEF'09. Il sera divulgué aux candidats après l'annonce des résultats finaux.

7.2 Format des fichiers d'entrée

Chaque instance est délivrée sous la forme d'une archive `instance_XXX` contenant les fichiers suivants :

- `config.csv` : spécifie les paramètres du problème considéré (fenêtre de recouvrement, coûts opérationnels, d'annulation, pénalités . . .) ;
- `airports.csv` : indique les capacités aéroportuaires ;
- `dist.csv` : stocke les distances horaires inter-aéroportuaires et le type des vols associés ;
- `flights.csv` : détaille les caractéristiques des vols ;
- `aircraft.csv` : contient les informations relatives aux appareils de la flotte ;
- `rotations.csv` : décrit les rotations des appareils de la flotte ;
- `itineraries.csv` : donne les détails des itinéraires des passagers ;
- `positions.csv` : précise le positionnement attendu des appareils à la fin de la période de recouvrement ;
- `alt_flights.csv`, `alt_aircraft.csv` et `alt_airports.csv` : reportent les perturbations sur les vols, appareils et aéroports, respectivement.

Pour chaque fichier, les éventuelles lignes de commentaire commencent par un caractère '%' et la fin du fichier est dénotée par un caractère dièse '#'.

Les types de données simples couramment utilisés dans les fichiers d'entrée sont les suivants :

- le type "airport" : chaîne de trois caractères correspondant au code IATA d'un aéroport, *e.g.* CDG pour Charles de Gaulle, NCE pour Nice ;
- le type "itin_char" : caractère spécifiant le caractère aller ou retour de l'itinéraire, *i.e.* A pour un aller, R pour un retour ;
- le type "itin_type" : caractère déterminant le type d'un vol ou d'un itinéraire, *i.e.* D pour domestique, C pour continental, I pour international, P pour proximité (transport terrestre) ;
- le type "cabin" : caractère déterminant la cabine de réservation, *i.e.* F pour first, B pour business, E pour éco ;
- le type "duration" : entier strictement positif définissant une durée exprimée en minutes ;
- le type "price" : flottant déterminant un prix en euros.

Les types de données complexes utilisés dans les fichiers d'entrée sont les suivants :

- le type "date" : chaîne **DD/MM/YY** codant pour une date, où **DD**, **MM** et **YY** sont des entiers donnés sur deux décimales, *e.g.* 10/01/08, 24/12/09 ;
- le type "time", exprimé selon un fuseau horaire unique (GMT) : chaîne **hh:mm**(**[+-][1]**)? codant pour une heure, où **hh** et **mm** sont des entiers donnés sur deux décimales, *e.g.* 12:00, 05:00-1 (5h00 le jour précédent) ;
- le type "aircraft" : chaîne **model#n** définissant l'immatriculation d'un appareil, où **model** est une chaîne de caractères et **n** un entier positif, *i.e.* A320#1, B747#12 ;
- le type "config" : chaîne **F/B/E**, où **F**, **B** et **E** sont des entiers, positifs ou nuls (ou égaux à -1 dans le cas d'une valeur infinie), spécifiant le nombre de places disponibles dans chaque cabine (first, business, éco) ;
- le type "maint" : chaîne **AAA-SD-ST-ED-ET-d** définissant les caractéristiques d'une maintenance (aéroport d'accueil, date et heure de début, date et heure de fin, potentiel de vol), où **AAA** est de type "airport", **SD** et **ED** de type "date", **ST** et **ET** de type "time" et **d** de type "duration".

Fichier de configuration Ce fichier précise les différents paramètres de l'instance considérée, à savoir :

- la période de recouvrement : dates de début et de fin (type "date"), heures de début et de fin (type "time") ;
- les coûts de retard par minute (type "price"), donnés par cabine de réservation (type "cabin") et type de l'itinéraire (type "itin_type") ;
- les coûts d'annulation (type "price") pour les passagers sur un vol aller, donnés par cabine de réservation (type "cabin") et type de l'itinéraire (type "itin_type") ;
- les coûts d'annulation (type "price") pour les passagers en correspondance ou sur un vol retour, donnés par cabine de réservation (type "cabin") et type de l'itinéraire (type "itin_type") ;
- les coûts de déclassement (type "price"), donnés par nature du déclassement (cabine de référence de l'itinéraire et cabine effective sur le vol, de type "cabin") et type du vol (type "itin_type") ;
- les coûts de pénalité (type "price") associés au non-respect des contraintes de bon positionnement, donnés dans l'ordre décroissant de violation (manque d'appareils de la famille requise, manque d'appareils du modèle indiqué, manque d'appareils de la configuration désirée) ;
- les coefficients α , β , et γ de pondération de la fonction objectif, donnés par des nombres flottants.

Les coûts renseignés dans ce fichier sont *unitaires*, par passager ou appareil. De plus, seuls les coûts ayant trait à la désutilité passager et aux pénalités en cas de mauvais positionnement sont indiqués. Les autres coûts (opérationnels) sont donnés dans le fichier *aircraft.csv*.

Format du fichier *config.csv* :

```
StartDate StartTime EndDate EndTime
(Cabin Type Cost/min )+
(Cabin Type Cost )+
(Cabin Type Cost )+
(Cabin Cabin Type Cost )+
P1 P2 P3
 $\alpha$   $\beta$   $\gamma$ 
```

Exemple d'entrée :

```
10/01/08 06:00 10/01/08 23:30
F D 0.75 F C 1.08 F I 1.5 B D 0.5 B C 0.75 B I 1 E D 0.33 E C 0.5 E I 0.66
F D 1000.0 F C 2000.0 F I 3000.0 B D 650.0 B C 1300.0 B I 2000.0 E D 350.0 E C 650.0
E I 1000.0
F D 3000.0 F C 6000.0 F I 9000.0 B D 2000.0 B C 4000.0 B I 6000.0 E D 1000.0 E C 2000.0
E I 3000.0
F B D 150.0 F B C 300.0 F B I 450.0 F E D 250.0 F E C 500.0 F E I 750.0 B E D 100.0
```

```

B E C 200.0 B E I 300.0
20000.0 5000.0 1000.0
1.0 1.0 1.0
#

```

L'exemple ci-dessus considère une période de recouvrement s'étendant du 10/01/08 de 6h00 à 23h30. Les 2, 3, 4 et 5èmes lignes expriment les coûts liés au ressenti passager, à savoir les coûts de retard, annulation, déclassement. Pour les coûts de retard (ligne 2) : 0.75 euro par minute pour un passager en first sur un vol domestique, 1.08 euros si le passager est sur un vol continental, 1.5 euros s'il emprunte un vol international, 0.5 euros pour un passager voyageant en business sur un vol national, etc. Les coûts d'annulation (ligne 3) des passagers de cabine first sont de 1000 euros pour un vol aller domestique, 2000 euros pour un vol aller continental, 3000 euros sinon; pour les passagers en business, ils sont de 650, 1300 et 2000 euros, respectivement, etc. Les coûts d'annulation (ligne 4) pour les passagers sur des vols retour ou en correspondance sont donnés de façon similaire. Les coûts de déclassement (ligne 5) pour le passage d'une cabine first à business sont de 150 euros sur un vol national, 300 euros sur un vol continental, 450 euros sur un vol international; ils sont de 250, 500 et 750 euros respectivement pour le déclassement d'une cabine first à éco, etc. La 6ème ligne du fichier donne les pénalités décroissantes pour le positionnement non conforme des appareils, à savoir 20000 euros par appareil manquant pour une famille donnée, 5000 euros par appareil manquant pour un modèle donné, 1000 euros par appareil manquant pour une configuration donnée. La dernière ligne indique que les coefficients de pondération α , β et γ de la fonction objectif sont tous égaux à 1.0.

Fichier des capacités aéroportuaires Ce fichier reporte, sur une journée type, les capacités aéroportuaires en termes de nombres maximum de décollages et atterrissages autorisés par intervalle horaire. Ces nombres varient en fonction de la période considérée (de pointe, normale, nuit, restrictions éventuelles de trafic de nuit), aussi les capacités horaires sont-elles associées à des fenêtres de validité. Chaque ligne du fichier contient l'identifiant d'un aéroport (type "airport") accompagné d'une suite de quadruplets définissant les capacités associées à chaque période. Les capacités sont données sous forme d'entiers, positifs ou nuls, et les périodes sont définies par deux champs de type "time" indiquant les heures de début et de fin de la période.

Format du fichier *airports.csv* :

```
Airport (Dep/h Arr/h StartTime EndTime )+
```

Exemple d'entrée :

```

NCE 0 0 00:00 03:00 5 0 03:00 07:00 20 20 07:00 19:00 5 10 19:00 21:00 0 0 21:00 00:00
#

```

L'exemple ci-dessus décrit une journée type, en heure GMT, de l'aéroport de Nice :

- pas de départs ni d'arrivées entre 21h00 et 3h00;
- 5 départs autorisés par intervalle $[H, H + 1[$ entre 3h00 et 7h00;
- 20 départs et 20 arrivées possibles par intervalle $[H, H + 1[$ entre 7h00 et 19h00;
- au maximum, 5 départs et 10 arrivées par intervalle $[H, H + 1[$ entre 19h00 et 21h00.

Fichier des distances horaires Ce fichier stocke les distances horaires inter-aéroportuaires entre chaque couple d'aéroports, ainsi que le type du vol associé. Il est à noter que les distances ne sont pas forcément symétriques, aussi pour chaque couple d'aéroports correspondent potentiellement deux valeurs. Chaque ligne du fichier contient les identifiants des aéroports d'origine et de destination (type "airport") et les détails du couple (types "duration" et "itin_type").

Format du fichier *dist.csv* :

```
Origin Destination Dist Type
```

Exemple d'entrées :

```
CDG NCE 95 D
NCE CDG 95 D
#
```

L'exemple ci-dessus donne la distance entre Nice et Charles de Gaulle et classe le vol associé comme domestique.

Fichier des vols Ce fichier contient les informations concernant les vols opérés par la compagnie sur une journée type de la période de recouvrement. Chaque vol est associé à un numéro de vol unique (entier strictement positif), des aéroports d'origine et de destination (type "airport"), des heures de départ et d'arrivée (type "time") et le numéro du vol de liaison précédent (vol multi-tronçon), nul en cas d'absence de liaison.

Format du fichier *flights.csv* :

```
Flight Orig Dest DepTime ArrTime PrevFlight
```

Exemples d'entrée :

```
1 NCE CDG 14:00 15:35 0
2 SIN LHR 15:20 05:30+1 0
3 LHR CDG 06:30 07:45 2
4 ORY CDG 08:30 09:00 0
#
```

L'exemple ci-dessus décrit le vol numéro 1 (domestique, cf. fichier *dist.csv*), partant de Nice à 14h00 (GMT) et arrivant à Charles de Gaulle à 15h35 (GMT), le vol multi-tronçon Singapour-Charles de Gaulle, faisant escale à Heathrow, composé des vols numéro 2 et 3, et le "vol" numéro 4 (proximité) entre Orly et Charles de Gaulle, correspondant à un transport terrestre. Pour le vol multi-tronçon, le premier secteur (vol international) débute à Singapour à 15h20 (GMT) et termine à Heathrow à 5h30 (GMT) le matin suivant; le deuxième (vol continental), partant à 6h30 (GMT) et arrivant à 7h45 (GMT), relie Heathrow à Charles de Gaulle.

Fichier des appareils Ce fichier détaille les caractéristiques des appareils de la flotte. Pour chaque appareil sont reportés son immatriculation (type "aircraft"), son modèle, sa famille, sa configuration (type "config"), sa distance maximale franchissable, exprimée en durée de vol (type "duration"), son coût horaire d'exploitation en vol (type "price"), ses temps de réengagement et transit (type "duration"), son aéroport d'origine, c'est-à-dire l'aéroport où il est positionné avant le début de sa rotation, ou son aéroport de stationnement dans le cas d'un appareil non utilisé dans le programme de vols initial (type "airport"), sa maintenance éventuelle (type "maint"). Le modèle et la famille sont donnés sous la forme de chaînes de caractères.

Format du fichier *aircraft.csv* :

```
Aircraft Model Family Config Dist Cost/h TurnRound Transit Orig Maint
```

Exemple d'entrées, avec et sans maintenance, et transport public hors aérien :

```
A320#1 A320 AirbusSmall 0/20/150 480 1500.0 30 30 CDG CDG-10/01/08-14:00-10/01/08-20:00-900
A320#2 A320 AirbusSmall 10/30/110 480 1500.0 30 30 NCE NULL
TranspCom#1 TranspCom TranspCom -1/-1/-1 60 0.0 5 5 CDG NULL
TranspCom#2 TranspCom TranspCom -1/-1/-1 60 0.0 10 10 ORY NULL
#
```

L'exemple ci-dessus décrit les caractéristiques des 2 premiers Airbus A320 de la flotte. On peut constater que de nombreuses caractéristiques sont communes, mais que leur configuration diffère. Le premier est positionné à Charles de Gaulle en début de période, et doit y subir une opération de maintenance le 10/01/08 entre 14h00 et 20h00 (il ne peut de plus pas voler plus de 15 heures avant sa maintenance), le deuxième se trouve à Nice et n'a aucune maintenance planifiée avant la

fin de la période de recouvrement. Les caractéristiques des transports terrestres numéro 1 et 2 sont également données. Ils appartiennent tous deux à la famille TranspCom et possèdent des capacités infinies en nombre de sièges ainsi que des coûts d'exploitation nuls. Le transport terrestre numéro 1 est positionné à Charles de Gaulle en début de période tandis que le numéro 2 se trouve à Orly.

Fichier des rotations Ce fichier décrit les rotations des appareils de la flotte sur la durée de la fenêtre de recouvrement. Pour chaque vol, défini de façon unique par un couple "numéro de vol - jour de départ (type "date")", est indiqué l'appareil chargé d'opérer le vol (type "aircraft"). Les affectations sont regroupées par appareil et classées par ordre chronologique pour chaque appareil.

Format du fichier *rotations.csv* :

```
Flight DepDate Aircraft
```

Exemple d'entrées :

```
2 20/01/08 B747#5
3 21/01/08 B747#5
2 21/01/08 A340#2
3 22/01/08 A340#2
4 21/01/08 TranspCom#2
#
```

L'exemple ci-dessus décrit les rotations du Boeing 747 numéro 5, de l'Airbus A340 numéro 2 et du transport en commun numéro 2 sur la période de recouvrement qui s'étend du 20/01/08 au 21/01/08. Celles-ci sont constituées des vols numéros 2 et 3 (vol multi-tronçon Singapour-Charles de Gaulle, cf. fichier *flights.csv*) du 20/01 et 21/01, et de la liaison terrestre Orly-Charles de Gaulle du 21/01, respectivement. On peut constater que le vol numéro 3 du 22/01 se trouve hors de la période de recouvrement, mais de par sa liaison avec le vol numéro 2, il est néanmoins inclus dans le problème.

Fichier des itinéraires Ce fichier contient les informations concernant les itinéraires des passagers. Pour chaque itinéraire est reporté un numéro unique (entier strictement positif), son caractère aller ou retour (type "itin_char"), son prix unitaire en euros (type "price"), le nombre de passagers ayant réservé sur cet itinéraire, ainsi que la série de vols accompagnés de leurs date et cabine de réservation respectives (type "date" et "cabin"), qui le constituent. Le nombre de passagers est donné par un entier strictement positif.

Format du fichier *itineraries.csv* :

```
Ident Type Price Count (Flight DepDate Cabin )+
```

Exemples d'entrée :

```
1 A 784.21 320 2 20/01/08 E
2 R 1752.5 27 2 20/01/08 B 3 21/01/08 B
#
```

L'exemple ci-dessus décrit les itinéraires des passagers ayant réservé sur le vol numéro 2 (Singapour-Heathrow, cf. fichier *flights.csv*) du 20/01/08 : 320 passagers en aller, voyageant en cabine éco et ayant payé en moyenne 784.21 euros, 27 passagers en retour, connectant à Heathrow vers Charles de Gaulle (vol numéro 3), voyageant en cabine business sur les deux vols et ayant payé en moyenne 1752.5 euros.

Fichier de positionnement Ce fichier indique le nombre d'appareils de chaque sorte devant se situer aux différents aéroports du réseau en fin de recouvrement afin de respecter la contrainte de bon positionnement. Chaque ligne du fichier représente l'énumération du nombre d'appareils de chaque modèle (chaîne de caractères) et chaque configuration (type "config") requis au niveau de chaque aéroport (type "airport"). Les nombres sont donnés sous forme d'entiers strictement positifs.

Format du fichier *positions.csv* :
Airport (Model Config Count)+ #

Exemple d'entrées :
NCE A320 0/20/150 5 A320 10/30/110 2 B737 0/0/115 7 #
#

L'exemple ci-dessus décrit le nombre d'appareils requis à Nice à l'issue de la période de recouvrement : 5 Airbus A320 possédant 20 places en business et 150 places en éco, 2 Airbus A320 comportant 10 sièges en first, 30 sièges en business et 110 sièges en éco, et 7 Boeing 737 avec 115 places en éco.

Fichier des perturbations sur les vols Ce fichier indique les perturbations rencontrées sur les vols opérés par la compagnie, à savoir les retards et annulations éventuels. Chaque vol impacté, identifié par un couple "numéro de vol - jour de départ (type "date")", est associé à un retard (type "duration"), -1 en cas d'annulation. Les vols mentionnés dans ce fichier, ainsi que les passagers les empruntant, doivent être pris en compte pour le calcul des coûts dans la fonction objectif.

Format du fichier *alt_flights.csv* :
Flight DepDate Delay

Exemple d'entrées :
2 20/01/08 45
1 21/01/08 -1
#

L'exemple ci-dessus spécifie un retard de 45 minutes sur le vol numéro 2 (Singapour-Heathrow, cf. fichier *flights.csv*) du 20/01/08 et l'annulation du vol numéro 1 (Nice-Charles de Gaulle) du 21/01/08.

Fichier des perturbations sur les appareils Ce fichier reporte les indisponibilités des appareils, accompagnées de leur période d'applicabilité. Ces indisponibilités correspondent à des pannes constatées en début de période de recouvrement, impliquant une immobilisation plus ou moins longue de l'appareil au sol (position de l'appareil en début de période). Chaque ligne contient l'identifiant d'un appareil (type "aircraft") et les dates et heures de début et de fin (types "date" et "time") de la période d'indisponibilité.

Format du fichier *alt_aircraft.csv* :
Aircraft StartDate StartTime EndDate EndTime

Exemple d'entrée :
A320#1 20/01/08 04:00 20/01/08 20:00
#

L'exemple ci-dessus stipule que l'Airbus A320 numéro 1 ne sera pas disponible entre 04h00 et 20h00 le 20/01/08.

Fichier des perturbations sur les aéroports Ce fichier recense les réductions temporaires de capacité aux aéroports du réseau, associées à la période pendant laquelle elles s'appliquent. Chaque ligne du fichier associe un aéroport (type "airport") à une période définie par des dates et heures de début et de fin (types "date" et "time") et aux capacités horaires réduites applicables pendant la période spécifiée. Les capacités sont données sous forme d'entiers, positifs ou nuls.

Format du fichier *alt_airports.csv* :
Airport StartDate StartTime EndDate EndTime Dep/h Arr/h

Exemple d'entrée :
LHR 20/01/08 04:00 20/01/08 10:00 0 2
#

L'exemple ci-dessus représente un cas de brouillard sévère sur Londres ☺ ⇒ plus de départs et seulement 2 arrivées par intervalle horaire $[H, H + 1[$ entre 04h00 et 10h00.

7.3 Livraison attendue des candidats

Dossier de réponse Les candidats devront fournir un dossier comportant les documents suivants :

- une fiche d'enregistrement contenant les noms, statuts (étudiant ou chercheur) et affiliations des personnes composant l'équipe candidate;
- un résumé étendu (5 pages environ) sur la méthode de résolution proposée;
- un tableau récapitulatif des résultats obtenus sur chacune des instances.

En plus du dossier, les fichiers de solutions associés aux différentes instances proposées devront être fournis, à savoir, pour chaque instance, deux fichiers contenant respectivement la description des nouvelles rotations (appelé *sol_rotations.csv*) et des nouveaux itinéraires passagers (appelé *sol_itineraries.csv*). Les noms de fichiers devront être préfixés par le nom de l'instance correspondante, par exemple *A01_sol_rotations.csv* pour le fichier décrivant les nouvelles rotations de l'instance *A01*. Le format de ces fichiers est donné ci-après.

Finalement, les candidats devront être en mesure de fournir le programme ayant permis de délivrer ces solutions, soit sous la forme d'un fichier directement exécutable sur la machine-cible, soit sous la forme d'une archive contenant les fichiers source, accompagnés des instructions nécessaires à la compilation (et le cas échéant du makefile associé).

Fichier solution des rotations Ce fichier reprend l'intégralité des informations disponibles dans les fichiers d'entrée des vols et rotations, en y incluant les modifications requises. L'ensemble des vols du programme initial y sont donc répertoriés, éventuellement accompagnés des altérations éventuelles qu'ils ont subies (nouvelle heure de départ et d'arrivée, nouvel appareil d'affectation, annulation), de même que les vols nouvellement créés. Ces derniers doivent posséder un identifiant unique ne correspondant à aucun identifiant d'un vol du programme initial.

Format du fichier *XXX_sol_rotations.csv* :
Flight Orig Dest NewDepTime NewArrTime PrevFlight Date Aircraft

Soient le fichier *flights.csv* :
1 NCE CDG 14:00 15:35 0
10 SIN LHR 15:20 05:30+1 0
11 LHR CDG 06:30 07:45 10
43 CDG SXB 16:30 17:35 0
100 CDG ORY 16:40 17:10 0
#

et le fichier *rotations.csv* :
1 20/01/08 A320#1
1 21/01/08 A320#2
10 19/01/08 A340#2
11 20/01/08 A340#2
10 20/01/08 B747#5
11 21/01/08 B747#5
10 21/01/08 A340#2
11 22/01/08 A340#2
43 20/01/08 Fokk100#1
43 21/01/08 Fokk100#1
100 20/01/08 TranspCom#15
100 21/01/08 TranspCom#8
#

Pour cette instance (Test01), le Boeing 747 numéro 5 rencontre un incident mécanique et une grève des personnels au sol à Charles de Gaulle implique une forte réduction des capacités d'atterrissage pendant toute la période de recouvrement, qui concerne les journées du 20 et 21 janvier 2008.

Fichier de résultat *Test01_sol_rotations.csv* :

```
1 NCE CDG 14:00 15:35 0 20/01/08 A320#1
1 NCE CDG 14:30:16:05 0 21/01/08 A320#2
10 SIN LHR 15:20 05:30+1 0 19/01/08 A340#2
10 SIN LHR 15:20 05:30+1 0 20/01/08 cancelled
10 SIN LHR 15:20 05:30+1 0 21/01/08 A340#2
11 LHR CDG 06:30 07:45 10 20/01/08 A340#2
11 LHR CDG 06:30 07:45 10 21/01/08 B747#16
11 LHR CDG 06:30 07:45 10 22/01/08 A340#2
43 CDG SXB 16:30 17:35 0 20/01/08 cancelled
43 CDG SXB 16:30 17:35 0 21/01/08 cancelled
100 CDG ORY 16:40 17:10 0 20/01/08 TranspCom#15
100 CDG ORY 16:40 17:10 0 21/01/08 TranspCom#8
2 ORY SXB 17:40 18:40 0 20/01/08 BAE300#7
#
```

La période débute le 20/01/08 à 15h00 et s'étend jusqu'au 21/01/08 minuit. Le vol numéro 1 du 20/01/08 étant déjà parti, il demeure inchangé, ainsi que les vols liés 10 et 11 du 19/01/08 et 20/01/08, arrivés au début de la période. De même les deux vols fictifs numéro 100 (correspondant à du transport non aérien) ne sont pas affectés, car ils ne sont pas touchés par les restrictions de capacité (ils n'interviennent pas dans les contraintes de capacités aéroportuaires). Nous décidons d'annuler le vol numéro 10 du 20/01/08 et d'affecter un appareil de réserve (Boeing 747 numéro 16) pour opérer le vol numéro 11 du 21/01/08. Le vol numéro 1 du 21/01/08 est retardé de 30 minutes au départ (et subit donc un retard de 30 minutes à l'arrivée) car aucune arrivée n'est possible à Charles de Gaulle avant 16h00 le 21/01/08. En raison des réductions de capacités aéroportuaires également, les deux vols numéro 43 de la période sont annulés. Pour la journée du 20/01/08, nous décidons de la création du vol Orly-Strasbourg numéro 2 partant à 17h15 d'Orly et opéré par un BAE300 disponible à Orly.

Fichier solution des itinéraires Le format de ce fichier est strictement identique à celui du fichier d'entrée des itinéraires. L'identifiant initial de réservation est conservé pour chaque passager, c'est-à-dire qu'il peut éventuellement être dupliqué dans le cas où les passagers d'une seule réservation initiale sont réaccommodés sur différents itinéraires.

Soit le fichier *itineraries.csv* :

```
1 A 784.21 320 10 20/01/08 E
2 R 1752.5 27 10 20/01/08 B 11 21/01/08 B
3 A 150.7 12 43 20/01/08 E
4 R 150.7 70 43 20/01/08 E
#
```

Pour cette instance (Test01), le vol numéro 10 du 20/01/08 est annulé. Les 27 passagers en vol retour doivent être impérativement réaccommodés (à défaut de pénalités prohibitives), ils sont replacés sur le vol du lendemain, certains étant surclassés ou déclassés. Par contre, seule une partie des 320 passagers restants peut être placée sur le vol du lendemain, en raison du taux de remplissage de l'avion. Certains passagers voient donc leur voyage annulé. Le vol numéro 43 du 20/01/08 étant annulé, les passagers l'empruntant sont reroutés sur un nouvel itinéraire.

Fichier de résultat *Test01_sol_itineraries.csv* :

```
1 A 784.21 50 10 21/01/08 E
1 A 1752.5 270 cancelled
2 R 1752.5 2 10 21/01/08 F 11 22/01/08 B
```

2 R 1752.5 8 10 21/01/08 B 11 22/01/08 B
2 R 1752.5 17 10 21/01/08 E 11 22/01/08 B
3 A 150.7 12 100 20/01/08 E 2 20/01/08 E
4 R 150.7 70 100 20/01/08 E 2 20/01/08 E
#

50 passagers de la réservation numéro 1 ont été placés sur le vol du lendemain, les 270 autres ayant vu leur voyage annulé. Tous les passagers de la réservation numéro 2 ont été réaccommodés sur les vols du jour suivant : 2 en cabine first puis business (surclassement), 8 dans leurs cabines d'origine, les 17 restants étant déclassés sur le tronçon Singapour-Heathrow (entraînant une pénalité). Les 82 passagers des réservations 3 et 4 sont réaccommodés sur l'itinéraire composé du transport terrestre numéro 100 suivi du vol numéro 2.

7.4 Évaluation

Les programmes fournis par l'ensemble des candidats seront évalués sur la machine-cible mise à disposition par Amadeus, à savoir un PC avec un processeur AMD Turion64x2 et possédant 2 Go de RAM. Les systèmes d'exploitation supportés sont Windows XP Professional SP2 (32 bits) et Fedora 9 (64 bits).

Concernant les solveurs commerciaux, Artelys et Dash Optimization ont donné leur accord pour :

- un prêt d'une licence Academic Research with CP et d'une licence Kalis C++ par équipe, sur une machine définie à l'inscription, pour la durée de la compétition;
- un support technique par email (interlocuteur unique par équipe).

D'autre part, l'utilisation des produits Ilog suivants est également autorisée : CPLEX 10.2 et CP Optimizer 1.0.

Sous peine d'élimination, les programmes fournis par les candidats doivent impérativement tourner sur la machine-cible dont les caractéristiques sont données ci-dessus et retourner des résultats pour chacune des instances du problème. Ils devront pouvoir être lancés en ligne de commande, selon le format suivant :

```
nom_prog -t cpu -i nom_instance
```

où `cpu` indique le temps maximum de résolution autorisé et `nom_instance`, l'instance considérée.

Par défaut, le temps maximum de résolution maximum est fixé à 10 minutes. Les programmes ne retournant pas de solution à l'issue de ce délai seront automatiquement éliminés.

Les programmes vérifiant toutes les conditions précédentes seront évalués en prenant la moyenne des scores normalisés obtenus sur toutes les instances. Le score obtenu sur une instance est donné par la valeur de la fonction objectif normalisée par rapport à la meilleure solution obtenue sur cette instance, tous programmes confondus.

En cas d'égalité, les concurrents seront départagés en tours successifs. Un tour d'évaluation consiste à relancer les programmes avec des temps d'exécution diminués, et recalculer les scores associés.

7.5 Planning du challenge

Le challenge se déroulera sur deux périodes distinctes : une première phase de qualification et une phase finale. Des jeux de données initiaux seront fournis au lancement du challenge, puis complétés au cours de la phase de qualification, et au plus tard jusqu'à la date de clôture des inscriptions. De plus, un vérificateur de solution sera mis à disposition des candidats au cours de cette même phase. À l'issue de cette dernière, une étape de sélection sera réalisée selon les modalités décrites au paragraphe précédent. La partie des candidats autorisée à poursuivre le challenge se verra alors délivrer un deuxième jeu d'instances qui servira à l'évaluation finale. Au terme de la phase finale, les programmes des candidats finalistes seront évalués sur un nouveau jeu d'instance inconnu et le classement définitif sera établi, puis dévoilé au cours de la conférence ROADEF'09.

Le planning prévisionnel détaillé est donné ci-après :

- conférence ROADEF'08 : lancement officiel du challenge; mise à disposition du sujet et des premières instances aux participants; début des inscriptions;

- 16/05/08 : clôture des inscriptions;
- 13/06/08 : date limite d'envoi des dossiers de réponse;
- 01/09/08 : notification des résultats de la phase de qualification; début de la phase finale et mise à disposition du jeu d'instances B;
- 05/01/09 : fin de la phase finale;
- conférence ROADEF'09 : proclamation des résultats et livraison du jeu d'instances X.

8 Annexe : le scenario *

8.1 Le jeu *

Le fichier de configuration

```
%Recovery window
%StartDate StartTime EndDate EndTime
10/01/08 06:00 10/01/08 23:30

%Delay costs (given by cabin and itinerary type)
%(Cabin Type Cost/min )+
F D 0.75 F C 1.08 F I 1.5 B D 0.5 B C 0.75 B I 1 E D 0.33 E C 0.5 E I 0.66

%Cancellation costs for outbound itineraries (given by cabin and itinerary type)
%(Cabin Type Cost )+
F D 1000.0 F C 2000.0 F I 3000.0 B D 650.0 B C 1300.0 B I 2000.0 E D 350.0 E C 650.0
E I 1000.0

%Cancellation costs for inbound or already begun itineraries (given by cabin and itinerary type)
%(Cabin Type Cost )+
F D 3000.0 F C 6000.0 F I 9000.0 B D 2000.0 B C 4000.0 B I 6000.0 E D 1000.0 E C 2000.0
E I 3000.0

%Downgrading costs (given by flight type and downgrading level)
%(Cabin Cabin Type Cost )+
F B D 150.0 F B C 300.0 F B I 450.0 F E D 250.0 F E C 500.0 F E I 750.0 B E D 100.0
B E C 200.0 B E I 300.0

%Penalties associated with incorrect location of aircraft (w/r to family, model, config)
%P1 P2 P3
20000.0 5000.0 1000.0

%Weights for different cost factors in the objective function
% $\alpha$   $\beta$   $\gamma$ 
1.0 1.0 1.0
#
```

Le fichier des aéroports

```
%Airport (Dep/h Arr/h StartTime EndTime )+
BKK 1 1 00:00 03:00 2 2 03:00 05:00 4 4 05:00 00:00
CDG 1 2 00:00 05:00 4 4 05:00 21:00 2 2 21:00 00:00
JFK 1 2 00:00 04:00 3 3 04:00 00:00
LHR 3 4 00:00 05:00 6 6 05:00 23:00 3 4 23:00 00:00
NCE 0 0 00:00 04:00 1 2 04:00 06:00 4 4 06:00 22:00 2 2 22:00 00:00
SYD 0 0 00:00 05:00 3 3 05:00 22:00 1 2 22:00 00:00
#
```

Le fichier des distances

```
%Origin Destination Dist Type
BKK CDG 739 I
BKK JFK 1077 I
BKK LHR 749 I
BKK NCE 742 I
```

BKK SYD 594 I
 BKK ORY 741 I
 CDG BKK 739 I
 CDG JFK 468 I
 CDG LHR 55 C
 CDG NCE 77 D
 CDG SYD 1302 I
 CDG ORY 34 P
 JFK BKK 1077 I
 JFK CDG 468 I
 JFK LHR 446 I
 JFK NCE 495 I
 JFK SYD 1232 I
 JFK ORY 468 I
 LHR BKK 749 I
 LHR CDG 55 C
 LHR JFK 446 I
 LHR NCE 100 C
 LHR SYD 1308 I
 LHR ORY 57 C
 NCE BKK 742 I
 NCE CDG 77 D
 NCE JFK 495 I
 NCE LHR 100 C
 NCE SYD 1305 I
 NCE ORY 74 D
 SYD BKK 594 I
 SYD CDG 1302 I
 SYD JFK 1232 I
 SYD LHR 1308 I
 SYD NCE 1305 I
 SYD ORY 1304 I
 ORY BKK 741 I
 ORY CDG 34 P
 ORY JFK 468 I
 ORY LHR 57 C
 ORY NCE 74 D
 ORY SYD 1304 I
 #

Le fichier des vols

%Flight Orig Dest DepTime ArrTime PrevFlight
 1 BKK CDG 18:00 06:15+1 0
 2 NCE CDG 08:00 09:30 0
 3 CDG LHR 10:20 11:20 0
 4 CDG LHR 08:30 09:30 0
 5 LHR JFK 12:00 19:30 0
 6 NCE LHR 09:30 11:15 0
 7 CDG BKK 11:30 21:45 0
 8 LHR CDG 12:30,13:30 0
 9 CDG NCE 14:35 16:05 0
 10 LHR NCE 13:10 14:55 0
 11 JFK LHR 22:30 06:00+1 0
 12 LHR CDG,07:15 08:15 0
 #

Ce fichier décrit les caractéristiques de chaque vol, ainsi que représentées en figure 3.

BKK	1		CDG
1800			0615
NCE	2	CDG	
0800		0930	
CDG	3	LHR	
1020		1120	
CDG	4	LHR	
0830		0930	
LHR	5		JFK
1200			1930
NCE	6	LHR	
0930		1115	
CDG	7		BKK
1130			2145
LHR	8	CDG	
1230		1330	
CDG	9	NCE	
1435		1605	
LHR	10	NCE	
1310		1455	
JFK	11		LHR
2230			0600
LHR	12	CDG	
0715		0815	

FIG. 3. Caractéristiques des vols du problème

Le fichier des appareils

%Aircraft Model Family Config Dist Cost/h TurnRound Transit Orig Maint

```

B767#1 B767 Boeing 10/20/160 12250 3000.0 75 50 CDG
CDG-10/01/08-06:00-10/01/08-10:00-20

B767#3 B767 Boeing 10/20/160 12250 3000.0 75 50 BKK NULL

A320#1 A320 Airbus 0/20/160 5700 2000.0 40 40 NCE
NCE-10/01/08-17:00-11/01/08-12:00-10

A320#2 A320 Airbus 0/20/160 5700 2000.0 40 40 NCE NULL

B777#1 B777 Boeing 20/45/310 14000 4000.0 90 60 CDG NULL

B777#4 B777 Boeing 20/45/310 14000 4000.0 90 60 LHR
CDG-10/01/08-12:00-10/01/08-22:00-80

```

#

Le fichier des rotations

%Flight DepDate Aircraft

```

1 10/01/08 B767#3
7 10/01/08 B767#1
2 10/01/08 A320#1
3 10/01/08 A320#1
8 10/01/08 A320#1
9 10/01/08 A320#1
4 10/01/08 B777#1
5 10/01/08 B777#1
11 10/01/08 B777#1
12 10/01/08 B777#4
6 10/01/08 A320#2
10 10/01/08 A320#2

```

#

Ce fichier associe les vols de la période aux appareils chargés de les opérer. La figure 4 donne le plan de vols résultant, sur trois intervalles de 12 heures consécutives placés chronologiquement de haut

en bas. La ligne verticale rouge indique le début de la période de recouvrement. Chaque appareil indiqué dans la colonne de gauche est associé en partie droite aux vols qu'il effectue durant la période définie.

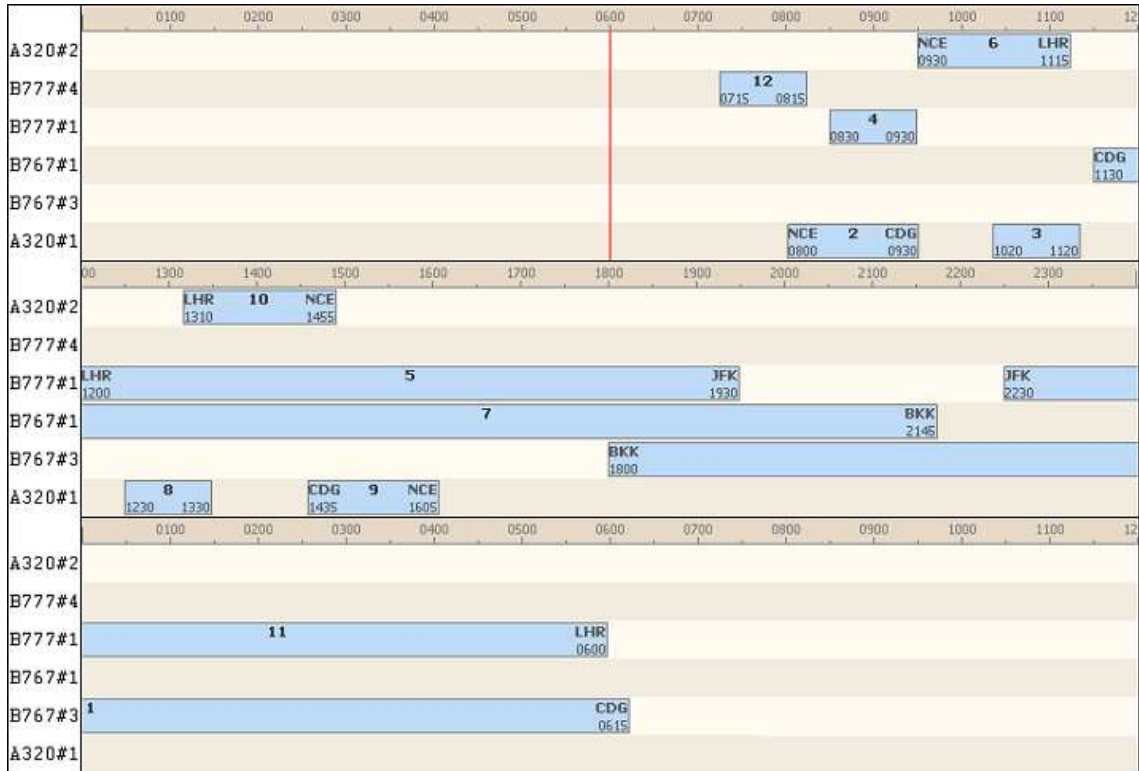


FIG. 4. Les rotations du problème

Le fichier des itinéraires

```
%Ident Type Price Count (Flight DepDate Cabin )+
1 A 2800.0 5 1 10/01/08 F
2 A 2200.5 7 1 10/01/08 B
3 A 1000.2 75 1 10/01/08 E
4 R 2200.5 9 1 10/01/08 B
5 R 1000.2 60 1 10/01/08 E
6 A 400.25 30 2 10/01/08 E
7 R 400.25 20 2 10/01/08 E
8 A 350.0 30 3 10/01/08 E
9 R 1200.17 1 3 10/01/08 B
10 R 350.4 30 3 10/01/08 E
11 A 1700.0 3 2 10/01/08 B 3 10/01/08 B
12 A 900.18 20 2 10/01/08 E 3 10/01/08 E
13 R 1700.0 1 2 10/01/08 B 3 10/01/08 B
14 R 900.18 10 2 10/01/08 E 3 10/01/08 E
15 A 1100.15 13 4 10/01/08 B
16 A 600.7 60 4 10/01/08 E
17 R 1100.15 9 4 10/01/08 B
18 R 600.7 40 4 10/01/08 E
19 A 2200.75 5 5 10/01/08 B
20 A 2900.1 1 5 10/01/08 F
21 R 2900.1 1 5 10/01/08 F
```

22 A 950.0 45 5 10/01/08 E
23 R 950.0 55 5 10/01/08 E
24 A 3400.61 4 4 10/01/08 F 5 10/01/08 F
25 A 2800.8 8 4 10/01/08 B 5 10/01/08 B
26 A 1100.0 80 4 10/01/08 E 5 10/01/08 E
27 R 3400.61 4 4 10/01/08 F 5 10/01/08 F
28 R 2800.8 4 4 10/01/08 B 5 10/01/08 B
29 R 1100.0 45 4 10/01/08 E 5 10/01/08 E
30 A 1600.09 3 6 10/01/08 B
31 A 450.64 32 6 10/01/08 E
32 R 1600.09 1 6 10/01/08 B
33 R 450.64 25 6 10/01/08 E
34 A 2500.25 0 7 10/01/08 F
35 A 1800.0 3 7 10/01/08 B
36 A 900.3 55 7 10/01/08 E
37 R 2500.25 2 7 10/01/08 F
38 R 1800.0 2 7 10/01/08 B
39 R 900.3 40 7 10/01/08 E
40 A 1100.05 4 8 10/01/08 B
41 A 400.8 55 8 10/01/08 E
42 R 1100.05 4 8 10/01/08 B
43 R 400.8 30 8 10/01/08 E
44 A 1200.0 3 9 10/01/08 B
45 A 350.42 40 9 10/01/08 E
46 R 1200.0 2 9 10/01/08 B
47 R 350.42 20 9 10/01/08 E
48 A 1700.76 6 8 10/01/08 B 9 10/01/08 B
49 A 900.0 25 8 10/01/08 E 9 10/01/08 E
50 R 900.0 15 8 10/01/08 E 9 10/01/08 E
51 A 1600.98 12 10 10/01/08 B
52 A 500.25 78 10 10/01/08 E
53 R 500.25 65 10 10/01/08 E
54 A 1400.34 7 11 10/01/08 F
55 A 1100.87 13 11 10/01/08 B
56 A 600.0 85 11 10/01/08 E
57 R 1100.13 19 11 10/01/08 B
58 R 600.0 148 11 10/01/08 E
59 A 2000.71 18 12 10/01/08 B
60 A 950.15 45 12 10/01/08 E
61 R 950.15 95 12 10/01/08 E
62 A 2200.03 4 12 10/01/08 F
63 R 1400.69 8 11 10/01/08 F
64 R 2200.03 8 12 10/01/08 F
65 R 2800.75 4 12 10/01/08 B
66 A 2500.5 2 4 10/01/08 F
67 R 2500.5 2 4 10/01/08 F
68 A 1600.38 7 6 10/01/08 B 5 10/01/08 F
69 A 450.0 50 6 10/01/08 E 5 10/01/08 E
70 R 1600.38 5 6 10/01/08 B 5 10/01/08 B
71 R 450.0 25 6 10/01/08 E 5 10/01/08 E
72 A 2350.91 4 2 10/01/08 B 7 10/01/08 F
73 A 900.14 20 2 10/01/08 E 7 10/01/08 E
74 A 1700.72 1 2 10/01/08 B 7 10/01/08 B
75 R 900.14 3 2 10/01/08 B 7 10/01/08 F
76 R 900.14 10 2 10/01/08 B 7 10/01/08 B
77 R 900.14 10 2 10/01/08 E 7 10/01/08 E
78 A 1700.3 5 2 10/01/08 B 9 10/01/08 B

```

79 A 900.75 32 2 10/01/08 E 9 10/01/08 E
80 A 1200.0 7 12 10/01/08 B 3 10/01/08 B
81 A 350.41 60 12 10/01/08 E 3 10/01/08 E
82 A 3500.0 2 3 10/01/08 B 5 10/01/08 F
83 A 2800.6 3 3 10/01/08 B 5 10/01/08 B
84 R 1500.24 10 3 10/01/08 E 5 10/01/08 E
#

```

Ce fichier décrit les itinéraires de chaque passager transitant à travers le réseau. La figure 5 donne une représentation des correspondances (fléchage rouge), conformément aux itinéraires donnés dans le fichier. Comme pour la figure précédente, la représentation est donnée sur trois intervalles de 12 heures consécutives placés chronologiquement de haut en bas. La ligne verticale rouge indique le début de la période de recouvrement.

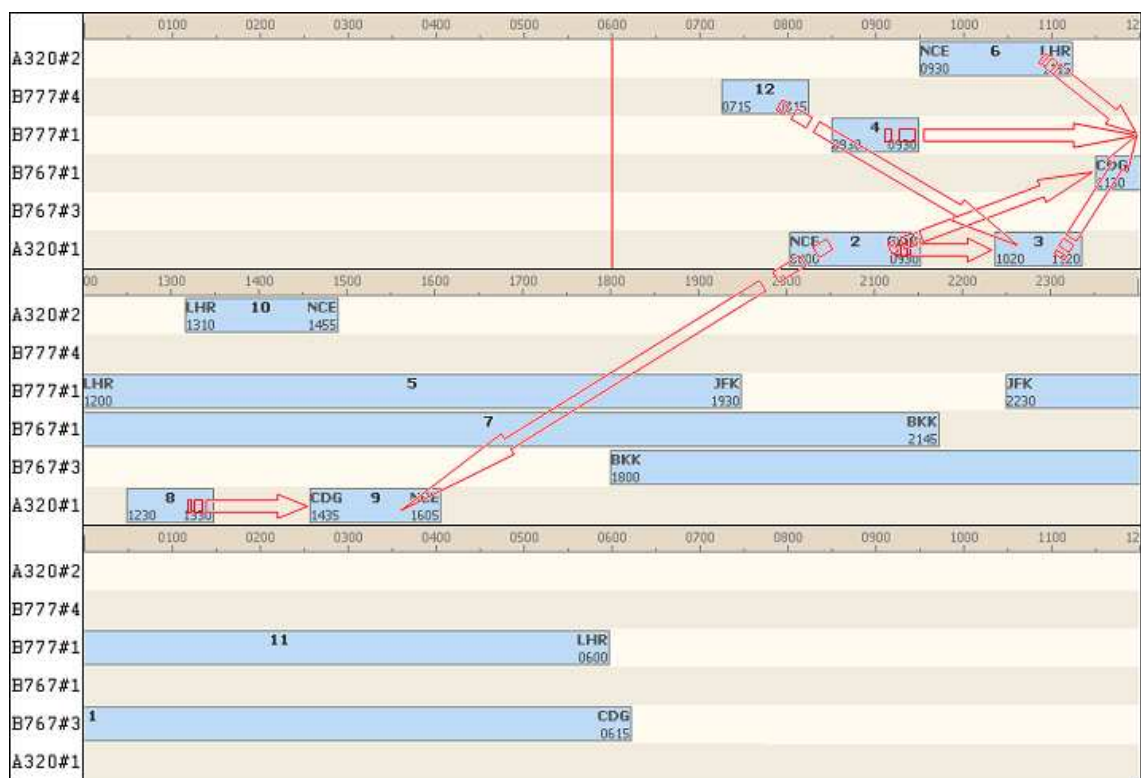


FIG. 5. Représentation des correspondances

Le fichier de positionnement

```

%Airport (Model Config Count )+ #
CDG B777 20/45/310 1 B767 10/20/160 1 #
LHR B777 20/45/310 1 #
NCE A320 0/20/160 2 #
BKK B767 10/20/160 1 #
#

```

Le fichier des perturbations sur les vols

```

%Flight DepDate Delay
3 10/01/08 60
#

```

Le fichier des perturbations sur les appareils

```
%Aircraft StartDate StartTime EndDate EndTime  
#
```

Le fichier des perturbations sur les aéroports

```
%Airport StartDate StartTime EndDate EndTime Dep/h Arr/h  
#
```

Impact des perturbations

Les perturbations rencontrées se résument à un vol retardé (vol numéro 3). En l'absence de toute gestion des perturbations, ce retard se propage à travers le réseau, entraînant le retard des deux vols suivants (contraintes de temps de réengagement à respecter) et une impossibilité de correspondance pour les passagers transitant du vol numéro 3 vers le vol numéro 5. La figure 6 résume les incidences de la perturbation sur l'ensemble des ressources du problème.

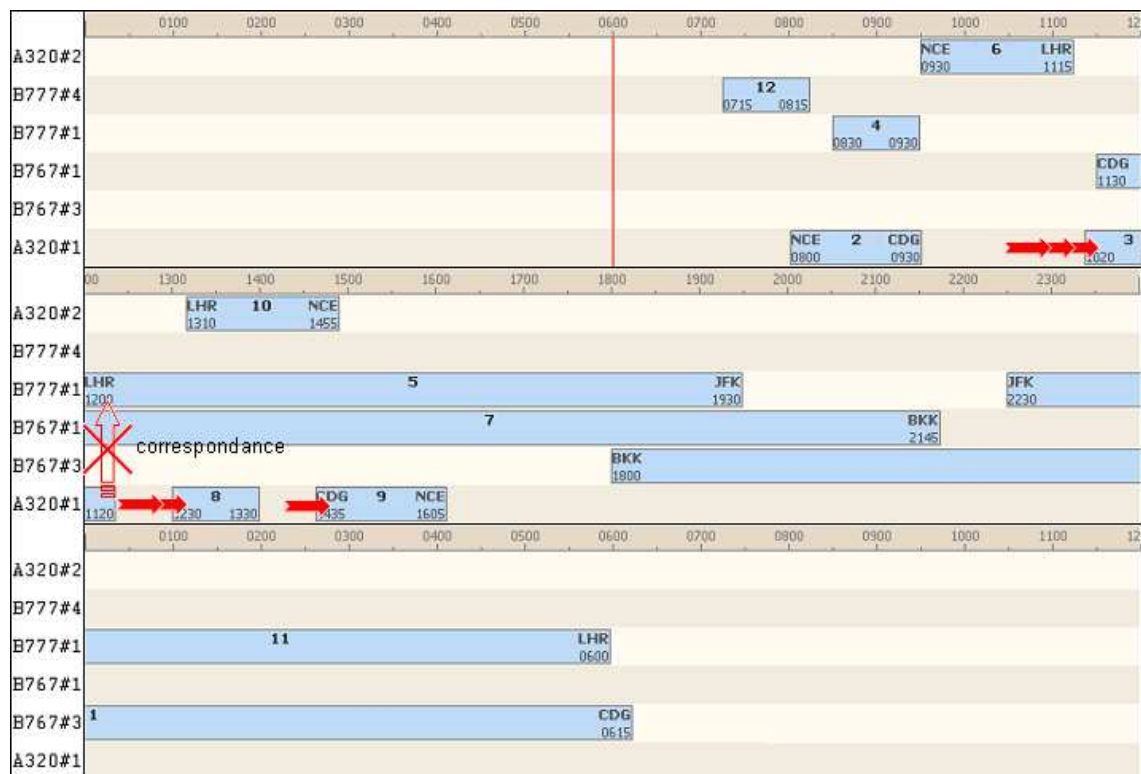


FIG. 6. Conséquences du retard du vol numéro 3

Solutions pour le recouvrement des perturbations

Afin d'absorber les retards en cascade sur les vols 8 et 9 induits par le retard initial du vol numéro 3, les rotations affectées aux deux A320 numéros 1 et 2 sont échangées pour partie, ainsi que représenté en figure 7. Ainsi, l'A320 numéro 2 se retrouve à opérer les vols numéros 8 et 9 (qui peuvent alors partir à l'heure) tandis que l'A320 numéro 1 se charge d'assurer le vol numéro 10 (pouvant lui aussi partir à l'heure). De substantiels gains sur les coûts de retard peuvent ainsi être réalisés.

Si l'on pousse plus loin le processus d'optimisation, un léger retard du vol numéro 5 permet l'acheminement des passagers en correspondance depuis le vol numéro 3, sans affecter le reste de la rotation du B777 numéro 1, ainsi que montré en figure 8. Les passagers dont le trajet devait précédemment être annulé peuvent désormais être amenés à destination, ce qui réduit d'autant

les coûts additionnels (même si l'on génère de la sorte des coûts de retard pour les passagers empruntant le vol numéro 5).

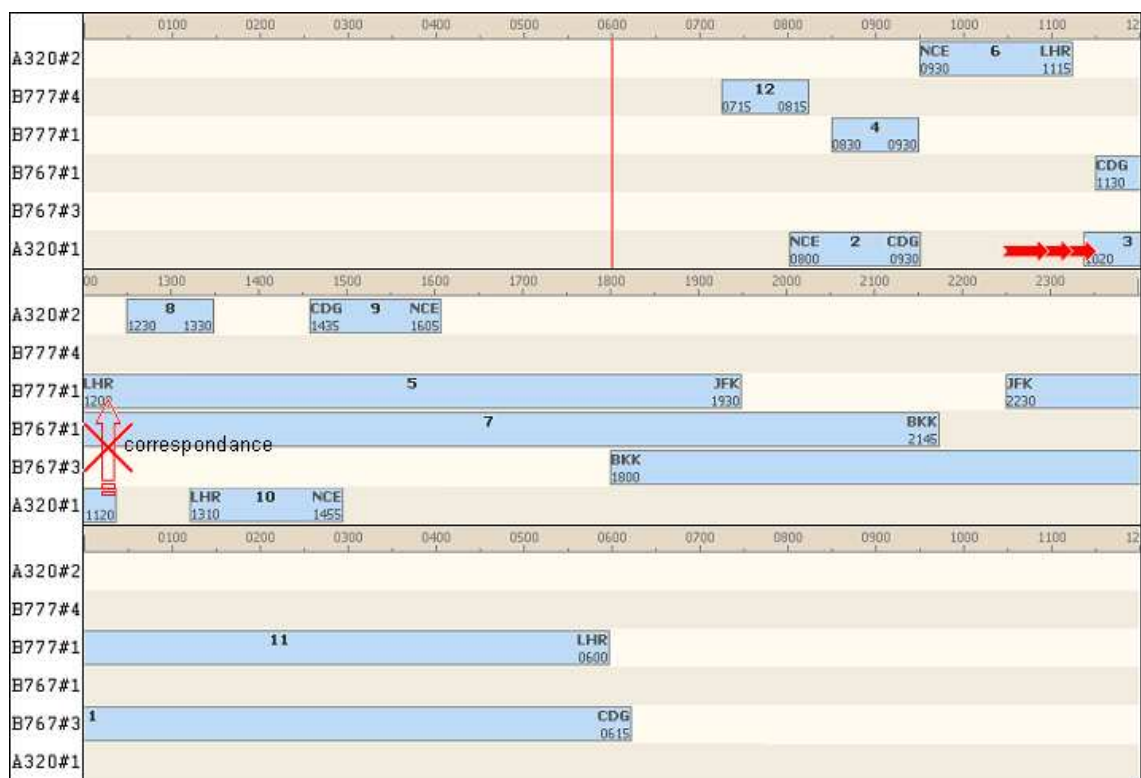


FIG. 7. Impact des changements d'appareil sur les vols numéros 8, 9 et 10

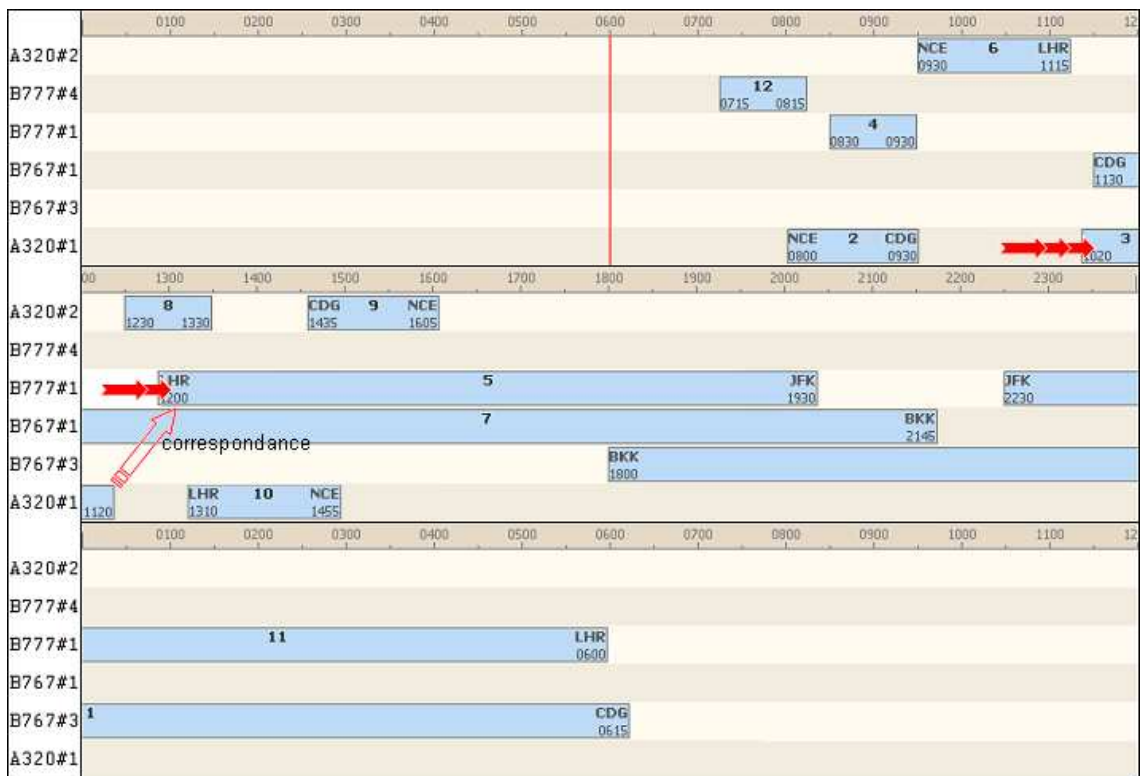


FIG. 8. Impact du retard intentionnel du vol numéro 5