La régulation des aéroports

Lucile Loiseau, Cédric Bourillet

▶ **To cite this version:**

Lucile Loiseau, Cédric Bourillet. La régulation des aéroports. Sciences de l'Homme et Société. 2003. hal-01908490

HAL Id: hal-01908490

https://minesparis-psl.hal.science/hal-01908490

Submitted on 30 Oct 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Lucile LOISEAU
Cédric BOURILLET

ÉCOLE NATIONALE
SUPÉRIEURE DES
MINES
BIBLIOTHÈQUE
IE 1 [448]

ECOLE DES MINES
DE PARIS

Corps Techniques de l'Etat

LA REGULATION DES AEROPORTS : APPLICATION AU PHENOMENE DE CONGESTION

Mémoire de fin d'études, juillet 2003

CONSULTATION SUR PLACE

Sommaire

INTRODUCTION 4

I. LE PHENOMENE DE CONGESTION DANS LES GRANDS AEROPORTS 5

1. UN CONTEXTE D'AUGMENTATION DU TRAFIC ET DES CAPACITES 5
2. L'AUGMENTATION DES DESAGREMENTS QUI EN RESULTENT 7
3. LES DIFFERENTES DEFINITIONS DE LA CONGESTION 8
4. UTILITE DE L'APPROCHE ECONOMIQUE 10
5. LES AEROPORTS, UN SYSTEME COMPLEXE 11

II. MESURE DE LA CONGESTION SUR L'AEROPORT DE ROISSY CHARLES DE GAULLE 12

1. PRESENTATION DE L'AEROPORT ROISSY CHARLES DE GAULLE 12
2. LES ACTEURS SUBISSANT LES CONSEQUENCES DE LA CONGESTION 14
3. METHODOLOGIE D'EVALUATION DE LA CONGESTION SUR UN AEROPORT COORDONNE 16
4. MESURE DE LA CONGESTION EN PHASE AMONT 17
5. MESURE DE LA CONGESTION EN PHASE AVAL 21
6. MISE EN PERSPECTIVE DES RESULTATS 25

III. MECANISMES ACTUELS DE REPONSE A LA CONGESTION ET PERSPECTIVES 27

1. INTRODUCTION AUX DIFFERENTES SOLUTIONS A LA CONGESTION 27
2. LIMITATION DU NOMBRE DE CRENEAUX DISPONIBLES 27
3. DELESTAGE VERS D'AUTRES AEROPORTS, EN PERIODE NOCTURNE OU DIURNE 29
4. EXTENSIONS DES CAPACITES AEROPORTUAIRES 31
5. LES REDEVANCES AEROPORTUAIRES 33
6. PRATIQUE DE L'INTERMODALITE 36
7. ETALEMENT DES HORAIRES 39
8. AUGMENTATION DE LA TAILLE DES AVIONS 41
9. OPTIMISATION DES MOUVEMENTS DE FRET 44
10. UNE MEILLEURE UTILISATION DES INFRASTRUCTURES PAR DES AMELIORATIONS TECHNIQUES 46

IV. MODELISATION DE LA CONGESTION 48

1. ESPRIT DE LA DEMARCHE 48
2. LA CONGESTION PAR FILE D'ATTENTE – AEROPORT NON COMPLETEMENT COORDONNE 48
3. CONGESTION DANS LA PHASE OPERATIONNELLE 57
4. BILAN 60
5. VERS UN NIVEAU DE CONGESTION OPTIMAL ? 62
6. APPLICATION AUX PARTIES PRECEDENTES 65

CONCLUSION 67

ANNEXES : 68

ANNEXE 1 : LE MECANISME DES CRENEAUX 69
ANNEXE 2 : EXTRAITS : REGLEMENT (CEE) N° 95/93 DU CONSEIL, DU 18 JANVIER 1993 71
ANNEXE 3: NOMENCLATURE DES DIFFERENTES CATEGORIES DE CAUSES DE RETARDS PAR IATA 73
ANNEXE 4 : EXTRAIT DES ARTICLES DU CODE DE L'AVIATION CIVILE PORTANT SUR LES REDEVANCES AEROPORTUAIRES 75
ANNEXE 5 : DECRET ORLY 76
ANNEXE 6 : PERSONNES CONTACTEES 78
ANNEXE 7 : BIBLIOGRAPHIE 81

Introduction

Le transport aérien est de toute évidence une page plutôt récente dans le livre historique de l'humanité.

Certes, voler a sans doute jailli depuis longtemps au cœur de l'imagination de tous les peuples. En témoignent les modes de transport imaginés pour les dieux dans les mythologies antiques, ou les anges dans les récits religieux, ou bien encore les plans d'appareils volants que l'on prête à Léonard de Vinci.

La réalisation progressive de ce rêve, loin d'étancher la soif des hommes, l'a au contraire décuplée. Les noms d'Adler, Mermaz et Blériot font vibrer les cœurs de chacun ; les prouesses technologiques, le Concorde, le Boeing 747 continuent d'attirer dans leur magnétisme badauds et passionnés aux abords des aéroports. Et puis, l'aviation est en résonance avec plusieurs questions fondamentales de la société comme la libre circulation des personnes ou le commerce entre nations.

Cette atmosphère fossile d'irrationalité baigne toujours le transport aérien. Malgré nombre de faillites retentissantes, des candidats renaissent chaque année pour reprendre les cendres encore chaudes des projets sans avenir. Un haut dirigeant d'Air France nous rappelait, il y a quelques semaines, la doctrine de Richard Branson : « Savez-vous comment faire une petite fortune ? Partez d'une grande fortune et investissez dans le transport aérien… ».

Pourtant, la formidable explosion du trafic aérien, des sommes brassées et des enjeux afférents ont conduit l'industrie à avancer vers la rationalité à marche forcée. C'est l'avancement de cette marche que nous avons voulu mesurer à l'aune d'une démarche rigoureuse telle que celle de l'ingénieur ou de l'économiste.

Au cœur des problématiques de régulation se niche en effet un phénomène qui joue d'un grand pouvoir d'attraction pour l'irrationalité ambiante : celui de la congestion. Bien peu d'études en apportent une mesure rigoureuse et une analyse rationnelle. Beaucoup de vagues médiatiques se creusent à son vent.

Nous nous proposons donc, dans un premier temps, d'expliciter proprement l'angle d'analyse que nous utiliserons et le cadre de son application, puis de procéder à une mesure rigoureuse de la situation de la congestion sur l'exemple précis de l'aéroport de Roissy Charles-de-Gaulle.

Il sera temps de tester plusieurs solutions existantes ou potentielles pour ce phénomène. Notre étude ne saurait alors être complète sans lui apposer une proposition de modélisation méthodique des causes de la congestion, et des effets des solutions qu'on lui aura proposées.

Cette étude n'a été commandée ou orientée par aucune institution, si ce n'est le Corps des Mines dans le cadre pédagogique de notre formation. Nous espérons donc n'y laisser qu'un parfum d'objectivité sans aucune odeur de préjugé.

Ce document relate ainsi la rencontre de jeunes ingénieurs-élèves avec un secteur économique qui leur était totalement inconnu, d'une vision naïve mais méthodique avec l'une des plus belles réussites du progrès humain. Ce sont les fruits de cette rencontre que nous vous proposons de découvrir au fil de ces pages…

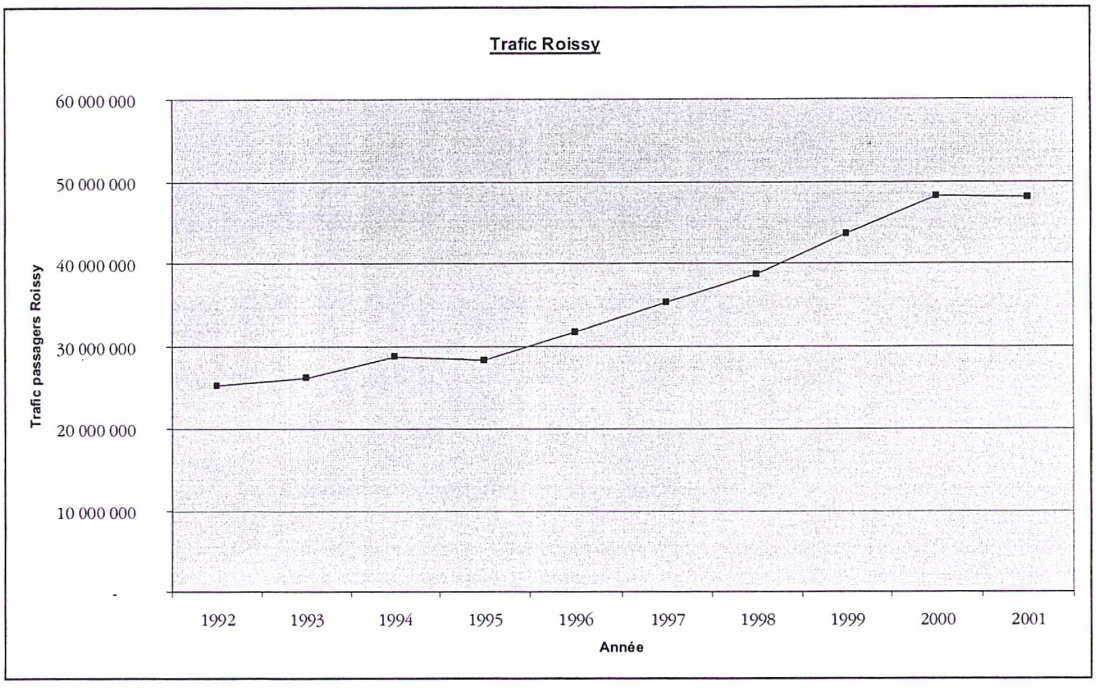
I. Le phénomène de congestion dans les grands aéroports

Nous nous proposons dans cette partie de préciser le cadre de cette étude, ainsi que le cheminement qui conduit à l'approche que nous développerons. A cette fin, partons des constats élémentaires qui s'imposent à tout usager du trafic aérien, et dressons les conséquences afférentes.

1. Un contexte d'augmentation du trafic et des capacités

La première observation que peut dresser l'usager du transport aérien est qu'il est de moins en moins seul. Depuis plusieurs années maintenant, le trafic aérien a connu une très forte croissance, même si les événements géopolitiques, économiques et sanitaires des années 2001 à 2003 ont conduit à une pause dans cette croissance. Tous les analystes s'accordent à pronostiquer un futur redémarrage de la croissance du trafic, à un rythme probablement plus modéré toutefois.

Toutes les régions du monde ont été concernées par cette croissance soutenue. La France, et tout particulièrement la région parisienne, n'ont pas échappé à cette règle. Nous nous concentrerons dans la suite de ce document sur la plate-forme de Roissy – Charles de Gaulle. Il paraît donc pertinent d'illustrer cette croissance par les données chiffrées correspondantes pour cet aéroport :



Ainsi, en une dizaine d'années, le trafic sur l'aéroport au nord de Paris a doublé. Ce très fort développement doit toutefois être modéré par les observations suivantes :

- le trafic d'Orly a été stable pendant cette durée (autour de 23 à 25 millions de passagers par an), c'est donc l'aéroport de Roissy qui a absorbé l'intégralité de la croissance du trafic sur la région parisienne. En réalité, le trafic enregistré par l'établissement public Aéroports de Paris (ADP, l'exploitant aéroportuaire de Roissy et Orly) a été de 50 413 227 passagers (répartis sur 510 687 mouvements d'atterrissage ou décollage, encore appelés touchers) en 1992, puis de 71 025 265 passagers (répartis sur 742 898 mouvements) en 2001. La croissance du trafic sur la région parisienne a donc « seulement » été d'un peu plus de 40%

- l'aéroport de Roissy a profité pleinement de l'installation du hub d'Air France en 1996. La notion de hub va revenir souvent dans ce document, il peut donc paraître pertinent d'y consacrer quelques lignes.

La notion du hub

Cette organisation s'est surtout développée au sein des grandes compagnies aériennes pendant les années 90. Elle s'appuie sur le constat suivant : dans une région donnée (celle de Bordeaux, par exemple), les passagers qui arrivent proviennent de plusieurs régions d'origine (Paris, Lyon, Marseille, Lille, étranger…), et les passagers au départ se dirigent vers plusieurs destinations. Même si le trafic total engendré par l'ensemble de ces voyageurs sur l'aéroport est conséquent, la multiplication des liaisons « point à point » qu'il faut réaliser pour permettre de satisfaire chacun des passagers condamne le transporteur aérien à affréter de nombreux avions qui auront chacun un faible remplissage.

Ce constat devient particulièrement éloquent lorsque l'on considère une destination lointaine (New York par exemple). Le nombre de Français désirant s'y rendre chaque jour est suffisant pour remplir quelques avions, mais la multiplication des régions d'origine de ces Français fait qu'il est économiquement peu rentable de programmer un vol pour New York depuis une quinzaine d'aéroports français afin d'y emmener tous les passagers qui le souhaiteraient.

L'organisation qui a donc été adoptée en conséquence consiste à choisir une plate-forme qui servira de point d'ancrage pour la compagnie. L'idée est alors d'amener tous les passagers de chacune des villes (quelle que soit leur destination finale) ensemble à cet aéroport central (ce qui permet de n'affréter qu'un avion par ville d'origine, qui sera bien mieux rempli, et donc bien plus rentable).

Puis quelques minutes plus tard, de lancer une vague de départs de cet aéroport central vers toutes les destinations possibles (New York par exemple, mais aussi Bordeaux). Ainsi, le taux de remplissage de ces avions sera aussi très élevé.

Au bilan, les passagers auront probablement perdu un peu de temps (passage par la plate-forme centrale, siège du hub, au lieu d'une liaison directe avec leur destination) mais :

- les passagers pourront aussi partir vers n'importe quelle destination puisque les vols qui compteront désormais ne sont pas ceux au départ de leur aéroport d'origine, mais au départ de la plate-forme de hub
- les compagnies aériennes ont besoin de moins d'avions (il suffit d'un aller-retour entre chaque ville et l'aéroport central, au lieu d'un aller-retour entre tous les aéroports du territoire)
- le coefficient de remplissage (et donc la rentabilité financière de la compagnie) sont à un niveau bien plus élevé
- la compagnie aérienne réalise des économies d'échelle sur la plate-forme qui lui sert de hub grâce à l'augmentation forte du trafic. Elle dispose aussi d'un véritable pouvoir de négociation grâce au poids dominant qu'elle acquiert sur cette plate-forme.

En pratique, les grandes compagnies renouvellent ces vagues d'arrivée / départ plusieurs fois dans la journée, afin de répondre à la demande des usagers notamment.

La conséquence pour Roissy de l'installation du hub d'Air France a donc été d'amener sur la plate-forme des passagers qui ne souhaitaient pas particulièrement voyager à Paris, mais qui sont en transit vers une autre destination. Le trafic a donc parfois augmenté sans relation avec le besoin de transport aérien des Parisiens. Remarquons d'ailleurs qu'un passager en transit compte pour deux passagers dans les statistiques puisqu'il se retrouve d'abord en vol arrivée, puis en vol départ.

Enfin, le hub de Roissy s'étend au-delà des frontières françaises, et la concurrence entre compagnies aériennes se joue désormais sur les hubs (un passager européen qui souhaite se rendre aux Etats-Unis pour utiliser le hub d'Air France à Roissy, mais aussi le hub de Lufthansa à Francfort, celui de British Airways à Londres, celui d'Iberia à Madrid, etc…).

En conclusion, quelles que soient les raisons qui ont mené à cette augmentation du trafic, elle est bien visible pour un usager qui se présente à la porte d'embarquement de l'aéroport de Roissy.

Les capacités des infrastructures aéroportuaires ont bien entendu augmenté en réponse à cette croissance. Si nous prenons l'exemple de Roissy, l'ouverture de l'aérogare 1 eut lieu en 1974 ; puis ce fut au tour du premier module de l'aérogare 2 en 1981, puis du deuxième module de cette même aérogare 2 en 1982. Le troisième module vient en 1989. L'année suivante, c'est ce qu'on appelait alors l'aérogare T9 qui est inauguré.

En 1993, le quatrième module de l'aérogare 2 voit le jour. En 1998, c'est la première péninsule de l'aérogare 2F (le choix de la lettre est guidé par des raisons géographiques, et non alphabétiques) qui voit le jour, alors que l'aérogare T9 est agrandie. En 1999, le premier doublet de pistes Sud est mis en service, tandis que la deuxième péninsule du 2F est inaugurée, ainsi qu'un satellite au 2A. En 2000, on assiste à la mise en service du deuxième doublet de piste (au nord, cette fois). Enfin, en juin 2003, l'aérogare 2E a été inaugurée.

L'augmentation des capacités des infrastructures d'Orly a été moins flagrante ces dernières années puisque le trafic a été volontairement limité depuis plusieurs années déjà par une décision politique qui prend en compte les contraintes de l'environnement proche.

En province, l'augmentation du trafic a aussi entraîné l'extension de capacités, en particulier à Lyon ou Nice, mais aussi dans des aéroports plus modestes comme Clermont-Ferrand. D'autres villes réfléchissent déjà à une deuxième plate-forme aéroportuaire. Un nouvel aéroport à Nantes (Notre-Dame des Landes) est ainsi en cours de débat public, différentes hypothèses sont étudiées à Toulouse.

Toutefois, l'augmentation de ces capacités n'a pas toujours permis de suivre le rythme de croissance du trafic aérien. C'est l'objet du prochain paragraphe.

Remarque : il pourrait paraître opportun de s'interroger sur la rationalité de la volonté d'augmenter la capacité des infrastructures. L'action publique connaît bien des exemples d'interventions qui ne nécessitent pas de suivre rigoureusement l'évolution du phénomène auquel elles sont liées.

Pour être plus précis, un aéroport ne se résume pas à un nombre de passagers traités ou au retard moyen par passager aux yeux de la puissance publique. Pourquoi attacher tant d'importance à ces points et ne pas laisser un équilibre s'établir seul ? Les objectifs recherchés par l'Etat (au travers de l'établissement public ADP par exemple) dépassent de simples statistiques.

Nous ne formulons que des hypothèses sur ce point, mais il est possible d'imaginer qu'il prend en compte l'impact économique (local sur l'emploi par exemple ou national sur la création d'un centre d'échanges d'hommes et de marchandises) d'un grand aéroport, l'impact en terme d'aménagement du territoire, en terme de compétitivité de la région concernée au niveau des infrastructures, en terme d'attrait touristique pour les usagers étrangers, en terme d'image de modernité pour le pays, en terme de réponse au côté magique et historique (Mermaz, Saint-Exupéry, mais aussi l'aventure du Concorde par exemple) dans l'inconscient de la population, etc.

Au bilan, il ne serait donc pas surprenant que certaines décisions ou conséquences que nous rencontrerons ultérieurement n'obéissent pas à une pure rationalité économique, et que le secteur aérien ne soit pas encore un secteur dans lequel les principes économiques guident seuls les évolutions.

Nous ne détaillerons cependant pas plus ce point dans la suite du document.

2. L'augmentation des désagréments qui en résultent

L'usager du transport aérien (et en particulier celui de l'aéroport de Roissy CDG, qui va nous intéresser plus particulièrement dans la plus grande partie de ce document) ne se contente pas d'observer qu'il est de moins en moins seul dans un aéroport de plus en plus grand. Il constate aussi qu'il est victime de désagréments de plus en plus souvent.

Ainsi, les embouteillages aux entrées des aéroports deviennent de moins en moins anecdotiques. Trouver un stationnement pour son véhicule nécessite de plus en plus de tours de parking. Les files d'attente aux comptoirs d'enregistrement paraissent bien longues. Les retards à l'embarquement, puis au roulage sont de plus en plus fréquents et de plus en plus importants. Sans évoquer les files d'attente des avions en début de piste.

Puis à l'arrivée, les appareils doivent de plus en plus souvent tourner au-dessus de l'aéroport avant de recevoir l'autorisation d'atterrir. Ce n'est pourtant pas tout, il arrive parfois que l'appareil n'ait pas stationné au contact de l'aérogare, mais au milieu du tarmac, ce qui nécessite de prendre le bus. Puis il faut attendre les bagages qui mettent de plus en plus longtemps à arriver.

Bref, le scénario catastrophe semble de plus en plus souvent se produire (au moins partiellement), et il est bien difficile pour l'usager d'imaginer que tout ceci ne soit pas lié à l'augmentation du trafic.

C'est la qualité de service des aéroports qui se retrouve ainsi dégradée par cette augmentation du trafic.

Avant de questionner cette dernière proposition, établissons tout d'abord deux commentaires que nous inspire ce raisonnement :

- tout d'abord, il faudra bien conserver à l'esprit dans la suite de ce document que les manifestations d'une éventuelle saturation (ou congestion) sont multiples ; et surtout qu'il existe de multiples points d'encombrement possibles. Ainsi, la congestion peut prendre naissance à l'entrée des pistes, certes, mais aussi aux portes d'embarquement, aux comptoirs d'enregistrement, pourquoi pas à l'accès de l'aéroport, etc. Il faudra donc bien se garder des raisonnements hâtifs qui ne considèrent que les capacités des pistes pour caractériser le fonctionnement d'un aéroport
- par ailleurs, le transport aérien est porteur d'une dimension et d'émotions qui échappent parfois à la pure rationalité. Une des conséquences qui nous préoccupera est notamment le décalage entre perception de la congestion et la congestion que l'on pourra effectivement mesurer (sur quels critères ? Nous y reviendrons). Ce décalage rend l'exercice particulièrement difficile pour les exploitants aéroportuaires.

A défaut de mesurer la congestion, nous nous proposons pour l'instant d'éclairer d'une statistique le constat proposé par l'usager bougon que nous avons imaginé plus haut : celle des retards. Il pourrait en effet paraître assez facile d'assurer l'objectivité de cette mesure. Malheureusement, nous n'avons pas réussi à trouver de statistiques qui permettent de mesurer l'évolution du retard moyen depuis un grand nombre d'années. En ce qui concerne l'aéroport de Roissy, les seules données que nous avons trouvées débutent en 1998. La tendance que nous en retenons est la suivante : les retards furent assez importants en 1998, puis ont crû en 1999 (suite notamment aux désorganisations consécutives au conflit au Kosovo) avant de décroître en 2000, puis 2001 et 2002. Les niveaux de retard restent toutefois très élevés : le retard moyen par vol réalisé en 2000 fut supérieur à 19 minutes !

De nombreux intervenants nous ont confirmé, même si nous n'avons pas de données chiffrées objectives pour accompagner ce sentiment général, que les retards moyens se sont effectivement amplifiés par rapport à ceux constatés quelques années auparavant. Toutefois, tous ces retards ne sont en fait pas nécessairement dus à la congestion.

Nous reviendrons plus loin sur la répartition entre les différentes causes des retards.

Pour résumer ce que nous venons de présenter, il apparaît donc à un passager donné utilisant les infrastructures aéroportuaires que le trafic a beaucoup augmenté durant ces dernières années, que les manifestations d'une certaine forme de congestion se sont parallèlement multipliées. Il faut toutefois modérer le lien de causalité qui pourrait être dressé par les remarques suivantes :

- La congestion peut ne pas être directement reliée à l'augmentation ou à la valeur dans l'absolu du trafic aérien. Elle peut trouver d'autres formes d'explications sur lesquelles il conviendra de revenir plus tard dans ce document.
- Toutes les manifestations apparentes de la congestion ne sont pas liées à une saturation des infrastructures. Il existe de multiples causes au retard d'un vol au départ, par exemple. Evoquons le retard d'un passager qui ne se présente pas à l'embarquement, un problème technique sur l'appareil qui oblige à avoir recours à une opération de maintenance, un mouvement de grève du personnel responsable du chargement des bagages…
- La signification que chacun donne au mot congestion est différente selon le point de vue. Afin de mieux cerner les différentes acceptions de cette notion et d'éviter les malentendus éventuels sur le contenu de ce document, nous nous proposons de consacrer le prochain paragraphe à ces précisions.

3. Les différentes définitions de la congestion

Débutons ces lignes consacrées à la définition de la congestion par un petit rappel des nuances (parfois bien subtiles) qui existent entre congestion, saturation et pénurie.

Congestion, saturation et pénurie

La définition du mot 'congestion' que proposent les dictionnaires est : état d'une infrastructure qui est très fortement encombrée (et 'encombrer' = remplir en s'entassant et en faisant obstacle à la circulation, au libre usage des choses). Le mot 'saturation' appliqué à une infrastructure contient en revanche le sens de rendre tel qu'un supplément de la chose ajoutée soit impossible, qu'elle n'est plus en mesure de remplir sa fonction. Les deux notions sont donc très proches, celle de saturation étant probablement plus extrême dans son résultat. Au simple encombrement de la congestion répond la paralysie de la saturation. La nuance est donc faible.

La pénurie se réfère toutefois à un autre aspect, qui est le manque, la carence, l'absence de quelque chose (de capacités supplémentaires en infrastructures par exemple). Elle apparaît donc indépendamment de la congestion et de la saturation, dès que la demande devient supérieure à l'offre. Nous reviendrons plus en détails sur cette idée à la fin de ce paragraphe.

La majorité de la population envisage le transport aérien sous l'angle de l'usager.

Pour ce dernier, il y aura congestion dès lors qu'il subira des retards, souvent parce que l'appareil dans lequel il voyage doit subir un phénomène de file d'attente à l'entrée de la piste, dans la zone d'approche pour l'atterrissage ou avant de quitter son point de contact.

Pour les acteurs chargés du bon déroulement et de la sécurité des opérations aériennes, l'approche de la congestion sera plus sensible aux dégradations du niveau de sécurité et du niveau de service en général. Nous verrons plus loin que des capacités maximales horaires (nombre de décollages ou d'atterrissages autorisés pendant une heure sur un aéroport) sont définies, notamment pour tenir compte des contraintes de sécurité. Pourtant, l'examen des statistiques montre qu'en pratique, lors des journées extrêmement chargées, le nombre de mouvements enregistrés à certaines heures de la journée dépasse ce seuil. Même si ce grand nombre de mouvements a permis de réduire tous les retards à zéro, les acteurs chargés de la sécurité pourront considérer qu'on était en situation de congestion.

Pour les riverains, c'est la notion de saturation qui se fait chaque jour sentir. Dans ce cas, c'est bien dans son sens le plus subjectif et physiologique que la saturation se fait ressentir. Les externalités telles que les pollutions sonores ou par émissions qu'ils subissent les incitent à atteindre la saturation pour des niveaux de trafic bien plus faibles que ceux correspondant aux approches précédentes.

Enfin, explicitons plus en détail ce que l'économie entend par congestion.

Prenons pour commencer un petit modèle totalement indépendant des aéroports. Supposons ainsi qu'il existe un bien (des vélos à louer par exemple) et qu'il existe des agents économiques (des vacanciers par exemple), que nous appellerons utilisateurs, qui souhaitent avoir accès au bien.

Supposons que le premier utilisateur qui se présente est celui qui désire le plus ardemment louer un vélo (celui qui serait potentiellement le plus enclin à payer cher la location), nous dirons qu'il tire du bien en question l'utilité la plus grande. Il se verra attribuer le premier vélo. Puis c'est le deuxième client le plus ardent qui se présente et qui obtient un vélo, et ainsi de suite.

Classiquement, la théorie économique suppose que le coût du bien augmente avec les quantités. Dit autrement, elle suppose que chaque vélo coûte au loueur un peu plus cher à préparer (par exemple parce qu'il est plus loin dans la réserve, qu'il est donc recouvert par une couche plus épaisse de poussière et qu'il faut donc plus de temps aux employés pour le nettoyer, ou parce qu'il n'a pas servi depuis plus longtemps et que les travaux de remise en état de la pression de pneus et des différents accessoires sont plus longs). Bref, le coût de location d'un vélo supplémentaire (qu'on appelle coût marginal) est au fil des locations un peu plus élevé. Parallèlement, puisque les clients les plus ardents se présentent d'abord, chaque nouveau client a une ardeur (qui se concrétise par le prix qu'il est prêt à payer pour louer le vélo) que nous appellerons utilité marginale qui diminue par rapport au précédent.

Ce processus va donc aboutir à l'une des trois situations suivantes :

- tous les utilisateurs ont pu avoir accès au bien (il y a moins de vacanciers que de vélos à louer et il reste des vélos dans la réserve). Il n'y aura alors pas congestion.
- après un certain nombre de vacanciers qui ont pu être satisfaits, un nouveau vacancier se présente et le prix qu'il est prêt à payer (qui est, d'après ce que nous avons dit précédemment, inférieur à celui que son prédécesseur était prêt à payer) est inférieur au coût de la location du vélo suivant dans la réserve (qui est, d'après ce que nous avons dit précédemment, supérieur au coût du vélo précédent qui vient d'être loué). Il n'y aura alors plus aucun contrat de location. Ceci ne correspond pas à de la congestion, mais à un équilibre économique très classique. L'utilité marginale est inférieure au coût marginal de production d'un bien supplémentaire.
- après un certain nombre de vacanciers, un nouveau vacancier se présente. Il est prêt à payer un prix qui est supérieur à ce que coûterait la préparation d'un nouveau vélo mais il n'y a plus de vélo dans la réserve. Ici, il y a congestion au sens économique du terme.

Notons que nous pouvons mener strictement le même raisonnement sans nécessairement supposer que le coût marginal de préparation des vélos (de production du bien) est croissant.

On pourra remarquer que la situation est aussi celle d'une pénurie, au sens de la définition que nous en avons donnée dans l'encadré précédent. Ce constat n'est absolument pas original dans le contexte économique, puisque le fondement même de l'économie est la gestion de ressources rares, c'est-à-dire qui ne sont pas en quantités suffisantes pour satisfaire toute la demande potentielle. L'économiste est donc confronté quotidiennement à la pénurie, et aux réponses à apporter pour s'assurer que la gestion de cette pénurie se fait au bénéfice d'une situation optimale collectivement. Lorsque l'utilité (le prix qu'on est prêt à payer) pour un bien

est inférieure au coût de production de ce bien, la demande ne pourra économiquement pas être satisfaite, et il n'y a pas pour autant congestion.

Revenons maintenant au cas des aéroports. Le bien que nous considérons est la possibilité d'utiliser les infrastructures. Notons au passage que l'utilité qu'en tirent les utilisateurs sera diminuée en cas de dégradation du service (ce que les usagers appellent congestion). Les utilisateurs sont les compagnies aériennes ou les usagers du transport aérien selon le point de vue que l'on adopte.

Au sens économique du terme, il n'y aura pas congestion si le coût d'extension marginal des infrastructures (même si le cas des infrastructures aéroportuaires pose des problèmes d'indivisibilité qui empêchent de les étendre pour un seul appareil) est supérieur à la diminution des coûts de congestion pour l'utilisateur ou à l'utilité qu'en trouverait un nouvel utilisateur qui souhaiterait y accéder.

Dans le cas contraire, il y aura congestion.

4. Utilité de l'approche économique

Nous avons évoqué en introduction le parfum irrationnel qui existe encore un peu dans le monde du transport aérien. Une approche économique permettra donc d'y voir plus clair à partir de quelques perspectives basées sur des principes simples et rationnels.

L'utilité de l'approche économique pour cette étude se révélera aussi pour une seconde raison : en cas de congestion, les alternatives qui se présenteront pour les différents acteurs (transporteurs, passagers, exploitants aéroportuaires, mais aussi l'Etat par exemple) mettront fondamentalement en jeu des problématiques d'équilibre entre offre et besoin (demande). Par ailleurs, ces alternatives concerneront souvent des investissements lourds dont la pertinence ne pourra être évaluée qu'à l'aune d'une étude économique rigoureuse.

Rigueur et rationalité dans la mesure de la congestion, et dans l'analyse des solutions potentielles, voilà les raisons qui nous poussent à choisir une approche économique de la problématique. Inutile de préciser qu'il ne s'agit pourtant pas ici du seul angle d'analyse qui se proposait pour ces sujets.

5. Les aéroports, un système complexe

Lorsqu'un passager utilise les moyens de transport aérien, il n'est pas toujours conscient de la complexité des processus qui ont permis de lui fournir cette prestation. Elle n'est pourtant pas sans relation avec les phénomènes de congestion qui se manifestent sur les grands aéroports. Il sera utile pour la suite de ce document d'en donner un bref aperçu.

L'organisation se met en place avant même la commande des billets par le passager. Les compagnies aériennes doivent en effet obtenir, pour les aéroports les plus congestionnés (qu'on appelle alors aéroports coordonnés, nous reviendrons plus en détails sur ces questions dans l'annexe 1 consacrée aux créneaux aéroportuaires), une autorisation de décollage ou d'atterrissage à des heures cohérentes entre elles lors de conférences spécialement organisées à cet effet. Cette partie de la procédure est aujourd'hui une des procédures les plus critiques en terme de manifestation de la congestion. Nous y reviendrons dans la deuxième partie de ce document.

Lors de son arrivée à l'aéroport, le passager se présente au comptoir d'enregistrement. A cette fin, la compagnie aérienne qui va le transporter aura dû réserver auprès de l'exploitant aéroportuaire un ensemble de bornes d'enregistrement pendant les heures correspondantes.

Puis le passager se dirige vers la salle d'embarquement. Ici encore, la compagnie aérienne aura dû en effectuer préalablement la réservation (à la fois pour la salle d'attente des passagers et pour la rampe d'accès à l'avion), à moins que l'appareil ne soit stationné dans les aires lointaines, en quel cas la compagnie aura dû réserver des bus.

Pendant que le passager patiente, l'appareil va subir un ensemble d'opérations (nettoyage, remplacement des plateaux repas, remplissage du carburant, dégivrage le cas échéant) qui nécessitent autant de réservations et d'accords auprès d'intervenants différents.

Puis au moment du décollage, le pilote devra obtenir des autorisations de la part du contrôle aérien, tandis qu'il profitera de l'aide de techniciens au sol pour le guider dans les manœuvres.

On constate donc que la mécanique qui entoure l'accomplissement d'un vol commercial est complexe, imaginons maintenant la croissance de cette complexité quand nous ne considérons plus un, mais plusieurs centaines de milliers de vols par an !

Il n'est donc pas surprenant que chaque grain de sable puisse avoir des conséquences très lourdes sur le fonctionnement général du transport aérien. Il n'est pas surprenant non plus que la croissance de la complexité engendrée par la croissance du trafic conduise à une croissance de la congestion. Il n'est enfin pas surprenant que le nombre de causes différentes pouvant conduire à une manifestation de la congestion soit plutôt grand.

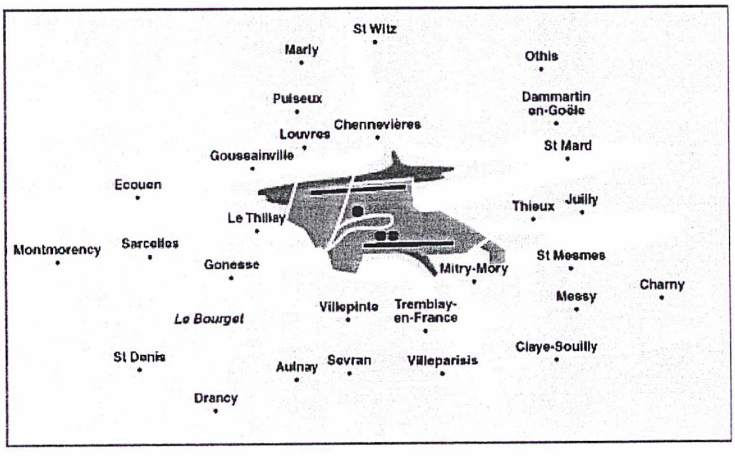
Il n'en paraît donc que plus opportun de chercher à dresser un bilan rigoureux et méthodique de ce phénomène de congestion. Nous avons choisi de consacrer la prochaine partie de ce document à cette mesure, sur l'exemple de l'année 2001 à l'aéroport de Roissy Charles de Gaulle.

II. Mesure de la congestion sur l'aéroport de Roissy Charles de Gaulle

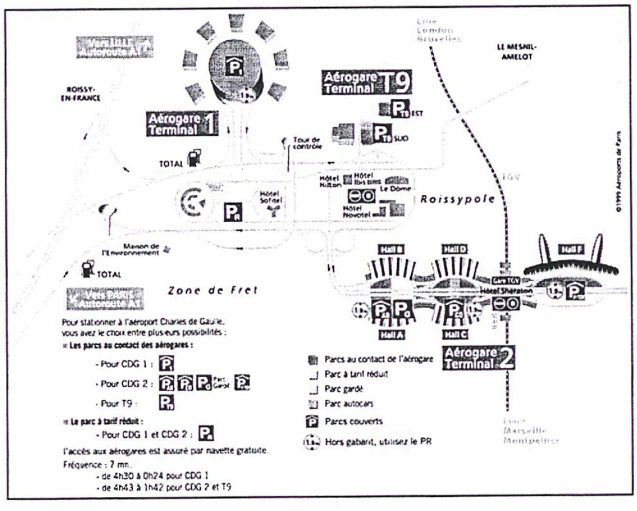
1. Présentation de l'aéroport Roissy Charles de Gaulle

Il s'agit du premier aéroport en France en nombre de passagers traités (plus 47 millions en 2001) qui se situe à la 6ème place mondiale en nombre de mouvements avec 523 400 atterrissages et décollages, l'aéroport en première position est celui d'Atlanta avec plus de 890 000 touchers annuels. L'aéroport de Roissy est à la 8ème place en tonnes de fret, puisqu'il en traite 1 591 000, soit 60% du nombre de tonnes traitées par la première place aéroportuaire en terme de fret qu'est Los Angeles International. La première partie de ce document a d'ailleurs évoqué et illustré la croissance du trafic aérien tant au niveau des vols commerciaux, du nombre de passagers servis que du tonnage en fret, cette croissance a toutefois été modérée par les événements du 11 septembre 2001.

Depuis son ouverture au trafic en 1974, cet aéroport a continûment évolué pour s'adapter au contexte de croissance du trafic. Ceci avait déjà été mentionné en première partie. L'Avant-Projet de Plan Masse (APPM), qui explicitait la configuration originelle de l'aéroport et l'extension maximum du site, proposait de le localiser sur trois départements : le Val d'Oise, la Seine Saint Denis et la Seine et Marne. Il envisageait la création de cinq pistes, dont deux doublets de pistes parallèles et indépendantes, l'un situé au nord (piste 1 et 3), l'autre situé au sud (piste 2 et 4), et tous deux orientés Est/Ouest. Les doublets de piste sont illustrés sur la carte ci-dessous. Une cinquième piste, secondaire, orientée Nord/Sud, devait compléter ce dispositif.

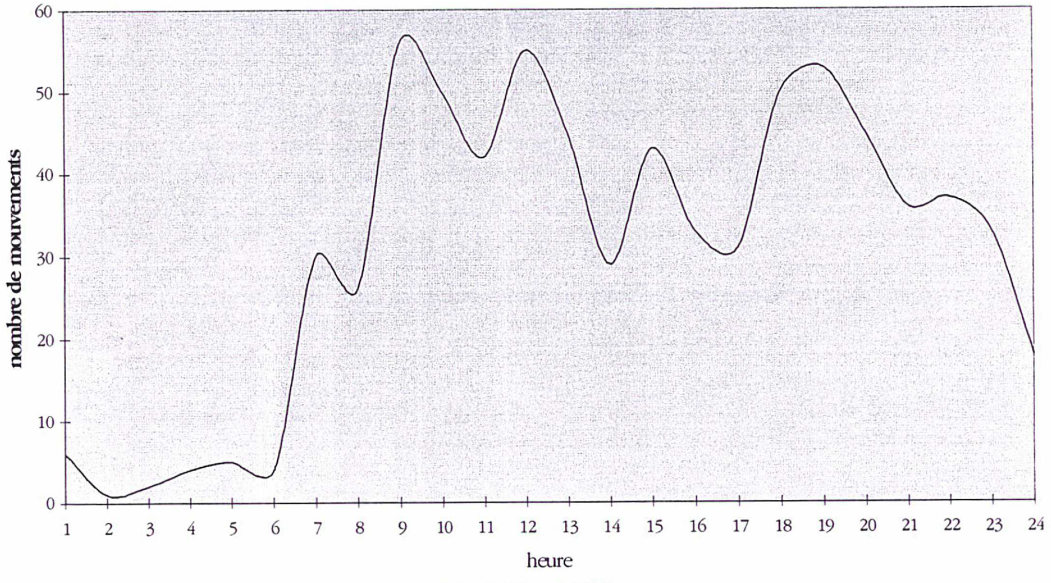


A l'ouverture de Roissy, la piste 1 a été mise en service. La piste 2 le fut plus tardivement en 1981. Les deux pistes complémentaires 3 et 4, et donc les deux doublets, sont opérationnels depuis 1999. La piste Nord/Sud est, quant à elle, réservée pour l'avenir. A son ouverture, a été construite l'aérogare CDG 1. La seconde aérogare CDG 2 a été inaugurée en 1981 à travers la mise en service du module 2B. L'aérogare T9, aujourd'hui rebaptisée T3, le fut en 1990. Tout au long des années 80 et 90, la seconde aérogare a subi des extensions considérables : les dernières en date concernent la deuxième péninsule du 2F en 1999 et le module 2E ouvert au trafic en juin 2003. Voici donc la configuration actuelle du site de Roissy, hors pistes, qui s'étend sur 3200 hectares.

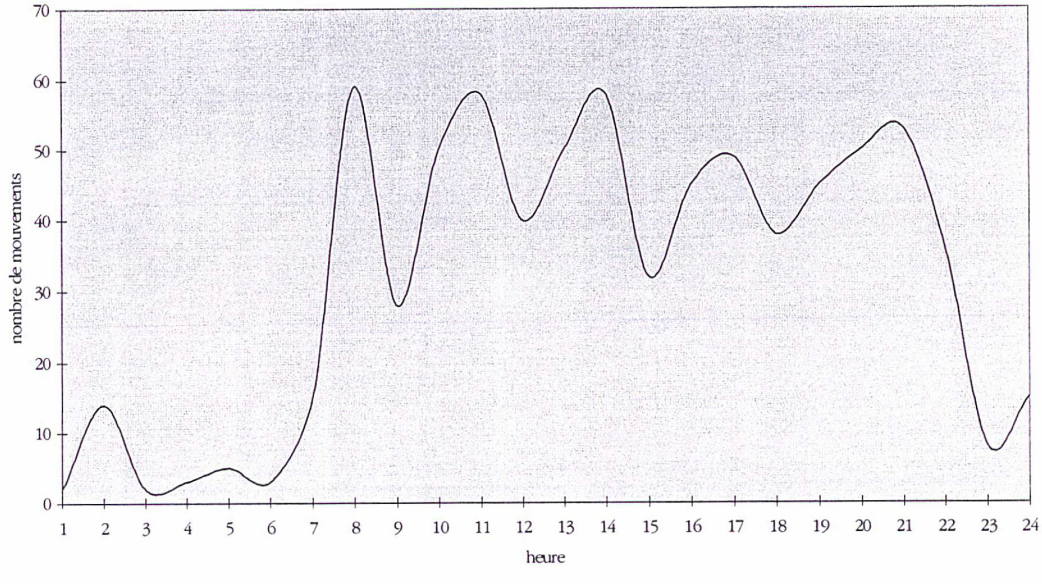


L'augmentation constante du trafic à laquelle répondaient les extensions des infrastructures a été amplifiée en 1996 lorsque la compagnie Air France a fait de l'aérogare CDG2 son « hub ». Ce mécanisme de « moyeu », précisé dans un encadré de la première partie, permet à Air France de drainer via Paris du trafic court courrier, puis d'organiser des correspondances pour des vols moyen courrier / long courrier. Les correspondances sont organisées sur 5 plages, chacune constituée d'une vague de départs et d'arrivées, et sont cadencées pour permettre un maximum de correspondances dans un délai le plus court possible. Le trafic géré par la compagnie nationale représentant plus de 60% du trafic de CDG, les vagues de flux entrants et sortants du « hub » d'Air France sont perceptibles dans les statistiques du nombre quotidien de touchers sur Roissy. Voici pour preuve un graphique représentant le trafic réalisé au cours du jour de pointe de l'année 2000 qui était le vendredi du 31 août, pour les départs et pour les arrivées : les vagues d'arrivées ont respectivement lieu à 7h, 9h, 12h, 15h et 19h.

Arrivées du 31 août 2000



Départs 31 août 2000



Il est intéressant de noter que l'intervalle de temps séparant chaque vague d'arrivées de la prochaine vague de départs est régulier ; d'environ 45 minutes.

Le graphe nous présente la répartition des vols entre les périodes diurne et nocturne. L'utilisation la plus forte des infrastructures a naturellement lieu dans la journée, entre 7h et 22h.

Imaginons maintenant que des aléas opérationnels surgissent au cours d'une telle journée. Ils provoqueront des retards, qui seront d'autant plus longs que l'utilisation des capacités à l'instant où survient l'aléa opérationnel est forte. Les acteurs subissant ces retards sont divers : les passagers d'abord, les compagnies aériennes aussi, l'environnement de l'aéroport enfin, principalement à travers les riverains. S'il est assez aisé d'indiquer qui supporte le retard, il est plus difficile de dire sous quelle forme le retard est supporté et quel en est le coût.

2. Les acteurs subissant les conséquences de la congestion

Les passagers

Il est fréquent que des passagers attendent une demi-heure voire une heure avant d'embarquer, ou une fois embarqués, avant de décoller. Cette attente sera plus facilement supportée par des vacanciers en partance pour des destinations lointaines et pour de longs séjours que par des hommes d'affaires pressés, pour lesquels la destination du vol en retard ne constitue qu'une correspondance... La valeur du temps pour un passager dépend donc de multiples paramètres :

- motif de déplacement (personnel ou professionnel)
- heure de départ (heure creuse ou de pointe)
- classe choisie (économique, business)
- durée du vol
- durée du séjour, une fois la destination finale atteinte
- caractéristiques socio-économiques du passager telles que son revenu, sa catégorie socio – professionnelle...

Le souci de précision dans les calculs voudrait que l'on tienne compte d'autant de valeurs du temps qu'il y a de catégories de passagers : on pressent que pour un passager en déplacement professionnel, la valeur du temps sera appréciée à partir de son salaire horaire. Pour un passager en déplacement pour motif personnel en revanche, elle dépendra davantage du motif intrinsèque et intègrera donc la durée du voyage mais aussi la façon dont la manière dont il passe (agrément, confort...) Le souci de simplicité nous conduit néanmoins à retenir une valeur moyenne du coût unitaire de retard par passager. Cette valeur sera donnée dans la suite du document, au paragraphe 4 de cette partie.

La comparaison des systèmes de transport aérien et maritime permet de souligner une différence dans l'évaluation de valeurs du temps.

Prenons l'exemple d'un bateau chargé de marchandises périssables et subissant un retard, à son entrée dans un port, celui du Havre par exemple. Deux choix s'offrent à lui : il attend au Havre jusqu'à ce que le port lui soit accessible, les marchandises dépérissent jusqu'à ce qu'elles puissent être déchargées, et ce de manière visible. Il peut aussi se diriger vers le port d'Amsterdam, et acheminer sa cargaison du port néerlandais vers le Havre par la route. Il supporte alors des charges additionnelles liées au transport maritime, puis au transport routier. Pendant ces déplacements, la marchandise continue à dépérir. Dans les deux scénarios, le coût de l'attente (et donc du temps) est palpable et assez aisément mesurable. Dans le cas d'une attente d'embarquement au sein d'aéroport ou de décollage dans un avion au contraire, aucune alternative n'est offerte à la compagnie aérienne si ce n'est de maintenir le vol ou de l'annuler. Si elle le maintient, le coût de l'attente sera en outre difficilement appréciable : comment valoriser la différence pour un passager entre une heure passée à attendre le vol qui se transforme en retard une fois arrivé à destination, et l'heure dont il aurait pu profiter à l'issue de son vol s'il était arrivé à l'heure ?

Les compagnies aériennes

Pour elles, les coûts sont de deux ordres. Il y a tout d'abord des coûts directs : quand un avion subit un retard, au sol par exemple, il consomme davantage de kérosène. Il supporte des frais de personnel supplémentaires, tant pour le personnel navigant que pour celui au sol chargé de gérer soit le flux des passagers, soit les flux connexes, comme celui des bagages. La compagnie aérienne se voit imputer des charges additionnelles associées à la maintenance de l'appareil et à l'immobilisation prolongée d'équipements au sol. Le traitement des passagers en correspondance, qui est critique au sein des hubs devient vite, en cas de retards,

spécifique et individualisé, donc coûteux. Remarquons que l'ensemble de la chaîne logistique est rendue plus complexe et se trouve de fait fragilisée. Le retard de l'appareil le rend indisponible pour d'autres rotations, induisant par là de nouveaux retards et de nouveaux coûts. Dans tous les cas, que le passager en retard soit un particulier ou salarié d'une compagnie, il n'est pas rare que la compagnie prévoit de l'indemniser. Voilà autant de sources de coûts directs.

Là encore, le souci de simplicité et la volonté de manipuler des données agrégées nous conduisent à retenir une valeur moyenne du coût unitaire de retard pour les compagnies. Cette valeur sera donnée dans la suite du document, au paragraphe 4 de cette partie.

Mais il y aussi des coûts indirects qui s'expriment notamment en terme d'effets d'image pour la compagnie. Ces derniers sont difficilement estimables : comment connaître l'impact du retard d'une heure qu'a subi le passager lors de son dernier vol sur la probabilité de rachat de son prochain billet auprès du transporteur concerné ? Ces effets d'image se reflètent à travers une perte de part de marché au profit des concurrents du transport aérien, au profit d'autres modes de transport, ou encore à travers une baisse du revenu moyen par passager. Cette baisse s'explique notamment par les clauses de ponctualité incluses dans des contrats avec des entreprises qui prévoient une réduction du prix moyen par billet en cas de retard. Certaines compagnies européennes s'efforcent d'évaluer ces coûts hautement stratégiques et les estiment comme étant deux à trois fois plus élevés que les seuls coûts directs. Ces coûts indirects ont été pris en compte dans la valeur du temps unitaire retenue.

L'environnement

Les retards induisent deux types d'externalités négatives pour l'environnement proche des plates-formes aéroportuaires : les émissions sonores et polluantes.

Les émissions sonores sont perceptibles au décollage, ou lors de l'approche et de l'atterrissage. Au cours de cette dernière phase, les avions se contentent de perdre de l'altitude en maîtrisant leurs trajectoires. Au cours du décollage par contre, ils doivent faire appel à la puissance de leurs réacteurs pour gagner en altitude. La puissance ayant été grandissante au fil des années, la durée pendant laquelle les riverains subissent des nuisances aux décollages des avions a été réduite. Lorsqu'il y a congestion, les avions 'tournent' au-dessus de l'aéroport avant d'atterrir ou attendent, moteur allumé, à l'entrée des pistes avant de décoller, ce qui augmente les nuisances sonores.

Ces nuisances sonores entraînent assez inéluctablement une dégradation de la qualité de vie des riverains, de leur santé, dont voici quelques exemples : difficultés d'endormissement, réveils fréquents, exposition au stress, disposition à des maladies cardio-vasculaires. Cette dégradation est variable, dépendant d'une part de la perception éminemment subjective de la gêne sonore et d'autre part de paramètres plus objectifs comme la distance entre les habitations et les pistes, axes de décollage et d'atterrissage. Si le premier critère est difficile à prendre en compte dans une évaluation du coût de ces externalités sonores, le second l'est plus aisément. Il a en effet été constaté et chiffré que latéralement, le bruit diminue assez vite quand on s'éloigne des pistes ; mais que dans l'axe des pistes, la nuisance peut concerner des zones relativement éloignées. La pression exercée sur les pouvoirs publics par les riverains et élus locaux, souvent regroupés au sein d'actives associations de vigilance, a d'ailleurs concouru à la création en 1999 d'une autorité indépendante, l'ACNUSA (Autorité de Contrôle des Nuisances Sonores Aéronautiques). Cette autorité est chargée de choisir les indicateurs de bruit les plus pertinents, et de garantir la mesure du bruit autour des aéroports et l'information à ce sujet. Une fois mesuré pour une zone homogène d'habitations donnée, le niveau de bruit est à corréler au coût des dégradations engendrées. Il est désormais admis que toutes choses égales par ailleurs, un logement situé dans une zone peu exposée au bruit aura une valeur plus grande qu'un logement situé dans une zone très exposée. La dépréciation des biens immobiliers situés à proximité des aéroports est appréhendée comme étant la forme principale de dégradation de la qualité de vie des riverains : une fourchette positionnée entre 0,4% et 1,2%, et une valeur moyenne de 1% de dépréciation de la valeur immobilière par décibel perçu ont d'ailleurs été avancées comme base de coût imputable à ces nuisances.

Le manque de données disponibles et la nécessaire approximation qui accompagne leur traitement nous a contraints à ne pas tenir compte de ce type de source de coûts.

Le bruit est souvent considéré comme le plus gênant, mais s'y ajoute la pollution de l'air. Elle est loin d'être négligeable. Voici quelques chiffres pour preuve : en ajoutant aux émissions de gaz carbonique les autres émissions telles que celles du NOx, la contribution de l'aviation à l'effet de serre était de 3,5 % en 1992 et serait de 5% en 2050. La part de l'Europe sera d'environ 10 % de ce chiffre mondial en 2050, 10% auxquels contribuera l'aéroport de Roissy Charles de Gaulle…

Le caractère nuisant voire dangereux des émissions polluantes dépend de nombreux facteurs :

- la substance émise,
- le type d'appareil à l'origine de l'émission -plus ou moins pollueur-,
- la phase de vol au cours de laquelle a lieu l'émission (par exemple la période de roulage précédant le décollage),
- enfin la zone de pollution (rurale ou urbaine) où les émissions gazeuses sont rejetées.

Ces pollutions ont deux conséquences principales sur les riverains et la communauté : d'abord elles détériorent la qualité de l'air respiré par la population environnante ; elles contribuent également à l'effet de serre et au réchauffement planétaire. Une minute de retard a donc un impact local et global, individuel et collectif, dont le coût demeure bien difficile à apprécier mais qui a cependant été évalué pour plusieurs types d'appareil : pour un A321, le coût unitaire des émissions polluantes est évalué comme étant nettement supérieur à celui associé à un A 310.

Nous nivellerons néanmoins ces différences en supposant que la flotte transitant par Roissy est idéale et composée d'avions tous identiques : une valeur moyenne de coût des émissions polluantes par minute sera jugée pertinente, elle sera donnée, toujours au paragraphe 4 de cette partie.

Nous avons ici passé en revue les principaux acteurs qui supportent sous différentes formes les retards d'appareils en nous efforçant, pour chaque conséquence, d'évaluer le coût supporté par ceux qui y sont exposés. A supposer que les précédents coûts associés aux retards puissent être évalués sans difficulté, il serait néanmoins erroné de penser que leur somme corresponde au coût total de la congestion ! Les retards résultant d'aléas opérationnels constituent la manifestation principale et non unique de la congestion. La partie qui suit présentera les deux formes de manifestation de la congestion que nous avons identifiées.

3. Méthodologie d'évaluation de la congestion sur un aéroport coordonné

Ici s'impose un rappel des précautions qui entourent l'utilisation et l'exploitation de coûts. Comme le mentionne le professeur Riveline dans le cours qu'il dispense à l'Ecole des Mines de Paris, le coût d'un bien n'existe pas de manière intrinsèque. Un coût ne mesure que des différences sur un échéancier de dépenses effectives et de ce fait est associé à une décision ou un événement. Par ailleurs, il dépend de l'observateur dont on considère le point de vue. Même s'il ne sera plus fait référence à ces appréciations pertinentes dans la suite du document, nous ne manquerons pas de les garder à l'esprit.

La congestion y sera appréhendée comme résultante de deux phases distinctes dans le temps et dans le mécanisme : une phase amont et une phase aval.

L'aéroport de Roissy CDG, choisi comme objet d'étude, est ce qu'on appelle un aéroport totalement coordonné, c'est-à-dire reconnu comme congestionné (demande très supérieure aux capacités donc risque d'engorgement complet) et nécessitant de ce fait une coordination dans la planification des vols à son départ et à son arrivée. Les compagnies aériennes désireuses de faire décoller ou atterrir un appareil sur Roissy doivent obtenir une autorisation préalable (de décollage ou d'atterrissage) qui vaut pour une tranche horaire de 10 minutes donnée et exclusivement sur Roissy. Une telle autorisation est désignée par le terme « créneau » et accordée par un coordonnateur national, qui est en France le comité de coordination des horaires (COHOR). Une fois le créneau sur Roissy obtenu, à charge pour les compagnies de s'assurer que l'autre extrémité de la liaison aérienne est en mesure de servir leur vol : si cette extrémité est un aéroport coordonné, une seconde autorisation sera nécessaire.

Nous reviendrons plus en détails dans l'annexe 1 consacrée aux créneaux aéroportuaires sur les mécanismes et modalités d'allocation, leurs limites, la réglementation en vigueur et les propositions de réforme. Pour l'heure, signalons simplement que la multiplicité des liaisons que les compagnies souhaitent mettre en place sur Roissy, la nécessaire cohérence entre créneaux d'arrivée et de départ, la limitation physique des capacités aéroportuaires enfin, rendent la gestion de ces créneaux difficile. Une manière de faciliter cette gestion est de mettre en œuvre une planification ex ante en deux temps. Les compagnies font part tout d'abord de leurs demandes de créneaux, demandes qui sont ensuite confrontées aux possibilités offertes par les infrastructures. Cette phase de planification correspond à ce que nous avons désigné comme la phase amont.

Face à une demande, le coordinateur peut apporter plusieurs réponses :

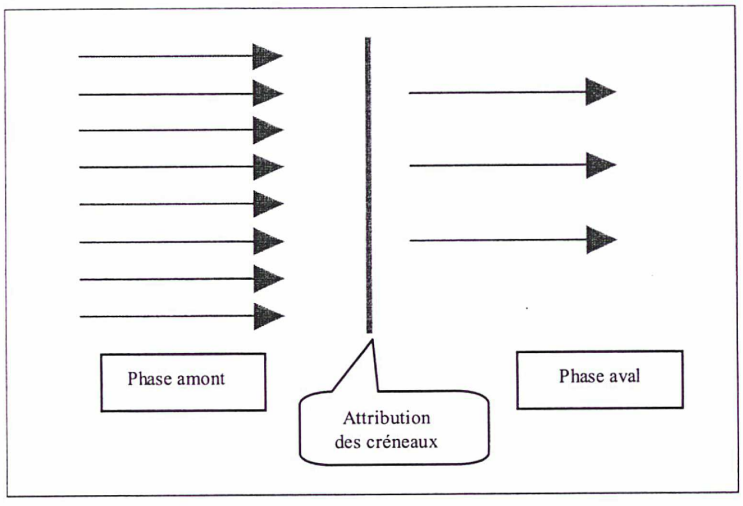
- il satisfait la demande
- il propose un autre créneau (il y aura alors congestion)
- il ne peut accorder un autre créneau et rejette la demande (il y aura alors congestion)

Cette phase de planification s'achève lorsque le coordonnateur a répondu à toutes les demandes. La compagnie aérienne ayant reçu un créneau (à l'heure qu'elle souhaitait ou avec un décalage), entre alors dans la phase aval ou phase opérationnelle. A la congestion qu'elle a pu éventuellement subir lors de la phase amont vient s'ajouter une congestion opérationnelle qui se manifeste principalement sous forme de retards. C'est cette congestion opérationnelle que nous nous sommes attachés à décrire dans la partie précédente.

Au bilan, le nombre d'appareils souhaitant utiliser l'infrastructure est supérieur à la capacité, et le système de créneaux permet de filtrer toutes les demandes en n'accordant qu'un nombre d'autorisations compatible avec cette capacité. On a donc rejeté en amont de la phase d'attribution des créneaux tout une partie de la congestion.

Le schéma qui suit illustre :

- la phase amont qui correspond à l'attribution des créneaux
- la phase aval qui reprend tous les facteurs de congestion opérationnels



Les deux types de congestion sont indépendants l'une de l'autre. Il peut y avoir une congestion aval sans congestion amont, et congestion amont sans congestion aval –le premier cas de figure est en particulier applicable aux aéroports non coordonnés comme celui de Nice. Sur Roissy, la congestion revêt naturellement ces deux formes. Il nous faudra adopter un traitement différent de la congestion pour chacune de ces deux phases. Nous présenterons en premier lieu la méthodologie choisie pour évaluer la congestion en phase amont avant de revenir sur la méthodologie associée à la phase aval qui a déjà été esquissée lors de l'énumération des différentes sources de coût de retards.

4. Mesure de la congestion en phase amont

Nous procéderons à cette mesure en deux temps :

- tout d'abord, présenter et commenter les données que nous avons obtenues concernant les demandes de créneaux et leur traitement par le coordonnateur,
- puis, isoler chaque demande qui n'est pas pleinement satisfaite par le coordonnateur, et valoriser le coût que représente, pour la compagnie concernée, l'inadéquation entre la demande qu'elle a formulée et la réponse que lui a apportée le coordonnateur.

Il est intéressant de s'attarder sur les deux éléments que sont l'offre et la demande en créneaux.

Pour une saison donnée, l'offre de créneaux est déterminée par le comité de coordination des aéroports parisiens, qui est composé de représentants de la tutelle ministérielle (plus exactement de la Direction Générale de l'Aviation Civile), de l'exploitant aéroportuaire ADP et de quelques compagnies aériennes dont le pavillon national, Air France.

La décision concernant les créneaux disponibles pour la saison d'été 2003 a été prise en fin d'année 2002 et officiellement arrêtée par sa publication au journal officiel le 7 novembre 2002. En voici l'extrait :

ANNEXE

II. – *Capacité de l'aéroport de Paris - Charles de Gaulle*

1. Capacité globale

A compter de la saison aéronautique d'été 2003 :

HEURES LOCALES	ARRIVÉES par 10 minutes	ARRIVÉES par heure	DÉPARTS par 10 minutes	DÉPARTS par heure	TOTAL arrivées + départs par heure	HEURES LOCALES
0 h à 0 h 59	7	30	7	25	40	0 h à 0 h 59
1 h à 1 h 59	7	20	7	25	40	1 h à 1 h 59
2 h à 4 h 59	7	20	7	20	32	2 h à 4 h 59
5 h à 5 h 59	7	30	7	25	40	5 h à 5 h 59
6 h à 6 h 59	8	40	7	38	67	6 h à 6 h 59
7 h à 7 h 59	10	46	11	60	96	7 h à 7 h 59
8 h à 8 h 59	11	58	11	61	102	8 h à 8 h 59
9 h à 9 h 59	11	58	11	61	103	9 h à 9 h 59
10 h à 10 h 59	11	56	11	61	103	10 h à 10 h 59
11 h à 11 h 59	11	58	11	61	103	11 h à 11 h 59
12 h à 14 h 59	11	53	11	61	99	12 h à 14 h 59
15 h à 15 h 59	11	54	11	61	99	15 h à 15 h 59
16 h à 16 h 59	11	54	11	58	99	16 h à 16 h 59
17 h à 17 h 59	11	58	11	58	101	17 h à 17 h 59
18 h à 18 h 59	11	58	11	58	102	18 h à 18 h 59
19 h à 19 h 59	11	56	11	58	102	19 h à 19 h 59
20 h à 20 h 59	11	52	11	60	101	20 h à 20 h 59
21 h à 21 h 59	10	49	10	45	90	21 h à 21 h 59
22 h à 22 h 59	7	40	7	42	76	22 h à 22 h 59
23 h à 23 h 59	7	40	7	30	60	23 h à 23 h 59

Il est à noter que le nombre de créneaux ouverts sur une journée a globalement augmenté par rapport à la saison d'hiver 2003 : le nombre maximal de mouvements horaire est passé à 103, et ce pendant deux plages quotidiennes, d'une durée respective de trois heures (de 9h à 12h) et de deux heures (de 18h à 20h). A titre de comparaison, ce nombre avait été fixé à 95 pour l'été 1999, et à 99 pour l'été 2000.

Il est assez naturel de s'interroger sur les critères de détermination de ce plafond horaire de mouvements que l'aéroport de Roissy serait capable de servir. Le premier critère à prendre en compte est naturellement la capacité aéroportuaire : théoriquement tant celle liée aux pistes, qui s'exprime alors en nombre de mouvements par heure, que celle liée aux aérogares s'exprimant davantage en flux de passagers. Actuellement, le règlement européen 95/93 (présenté en annexe 2) qui fixe le cadre général d'allocation des créneaux ne mentionne pas les capacités des aérogares comme devant être un critère à retenir pour la définition du nombre de créneaux. La DGAC a jusque lors été fidèle aux recommandations de Bruxelles. Le comité de coordination des aéroports parisiens, dont font partie quelques uns de ses représentants, a néanmoins récemment accepté de lancer une étude à ce sujet, donnant ainsi suite à une demande formelle que la Direction Générale d'Aéroports de Paris avait adressée à la DGAC. Le second critère est davantage social. La pression exercée par les riverains est bien réelle, et avait conduit les pouvoirs publics à accepter en 1996 le lancement d'une enquête publique dès que le nombre maximal de mouvements horaires atteindrait le seuil de 120. Depuis 1996, le trafic passagers a crû de 38%, passant de 35 à 48 millions de passagers. Même si l'on modère ce rythme de croissance à la lumière des répercussions induites par les événements du 11 septembre 2001, le seuil des 120 mouvements horaires en plage de pointe devrait être atteint d'ici 2007-2008.

L'offre en créneaux : capacité de programmation et capacité opérationnelle

Nous l'avons vu, le plafond du nombre de mouvements horaires est considéré comme une variable importante, dont les riverains s'empressent de prendre connaissance quand elle est rendue publique et dont ils surveillent l'augmentation jusqu'au seuil fatidique de 120. Ce seuil correspond à la capacité de programmation. Loin d'être inatteignable, ce plafond de 120 a déjà été franchi par le passé : à titre d'exemple, 121 mouvements par heure avaient été effectués en 2001 lorsque des aléas opérationnels avaient conduit à reporter des vols d'une plage horaire sur une autre. La capacité de 121 par heure correspond alors à la capacité maximale effectivement réalisée en 2001, encore appelée capacité opérationnelle.

Notons que lors de l'exploitation, il existe une marge entre les capacités programmée et opérationnelle : il a été constaté qu'en une heure, le nombre d'appareils programmé pour 80 minutes a pu être servi par les infrastructures de Roissy.

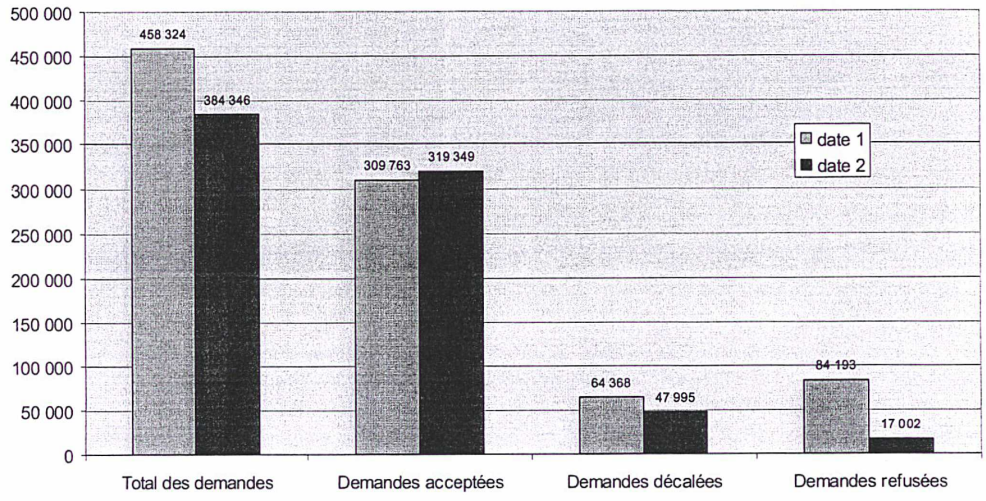
L'augmentation de cette capacité horaire maximale de programmation poursuivie depuis plusieurs années entraîne une hausse, en période de pointe, du nombre d'arrivées et de départs par tranche de dix minutes, et sert ainsi la stratégie de certaines compagnies, telles qu'Air France : elles peuvent drainer davantage de passagers sur leur plate-forme de hub et leur proposer un plus grand choix de correspondances.

L'extrait du journal officiel illustre l'offre en créneaux sur l'aéroport de Roissy. Après s'être intéressé à l'offre en créneaux, il est logique de s'intéresser maintenant aux demandes formulées par les transporteurs aériens à COHOR, avant traitement.

Une première vague de demandes est formulée avant une date donnée, appelée date 1. Le volume en était, pour la saison été 2001, de 458 324. A compter de cette date, COHOR se consacre au traitement des demandes en acceptant d'accorder le créneau souhaité, en proposant un autre créneau, ou en refusant d'en allouer un. Les compagnies prennent connaissance de ce traitement et font part de leur éventuelle acceptation de la solution proposée. Au fil des réactions des compagnies, COHOR ajuste le traitement des demandes en visant à l'améliorer. Ce traitement est définitivement arrêté à une date fixée à quelques semaines avant le début de la saison et que nous appellerons date 2. Le volume de demandes de créneaux à la date 2 était de 387 346. Nous désignerons enfin par la date 3 la date de fin de saison. C'est à cette date qu'un bilan des créneaux exploités est possible.

Voici un graphique intéressant qui illustre l'évolution du traitement des demandes, entre la date 1 et la date 2.

Evolution du traitement des demandes en créneaux



Deux constats peuvent être dressés : le premier est la diminution de l'insatisfaction, partielle ou totale, des compagnies dans la mesure où le traitement permet de réduire le pourcentage de demandes décalées (que l'on ramène au volume total des demandes) de 14% à 12,5% et celui des demandes refusées de 18,5% à 4,5%. Le pourcentage des demandes pleinement satisfaites croît en conséquence.

Le second constat est la diminution du volume global des demandes, qui a chuté de plus de 16% entre les dates 1 et 2. On peut s'interroger sur la réalité de l'intérêt que représente chaque créneau demandé et la criticité avec laquelle il concourt au succès de la stratégie de la compagnie. Les compagnies demandent-elles plus de créneaux que nécessaire ? Cette baisse de 16% peut nous le laisser penser. L'existence d'une spéculation pratiquée est confirmée par un autre chiffre pertinent qu'est le volume de créneaux réellement exploités pendant la saison. Il est de 330 443 (d'après le bilan à la date 3), alors que le nombre de demandes acceptées par COHOR était de 367 344 –somme de 319 349 et de 47995, valeurs expliquées sur le graphe ci-dessus-. Des compagnies ont formulé des demandes, ont reçu l'acceptation de COHOR et n'ont finalement pas exploité les créneaux obtenus. Ce comportement a porté en volume sur 37 000 créneaux, correspondant à un surplus de demandes de 11% !

On peut définir cette spéculation par l'inadéquation entre la demande formulée et ce que la demande devrait être. Cette spéculation se manifeste sous deux formes : un gonflement artificiel du volume des demandes d'abord, une altération de la nature des demandes ensuite. Il est en effet fréquent que COHOR reçoive de la part d'une compagnie des demandes de créneaux qui ont tous la même destination (la ville de taille moyenne qu'est Mönchengladbach en Allemagne est souvent choisie…) et dont seul l'horaire change. Il est également fréquent q'une fois ces créneaux CDG- Mönchengladbach obtenus, la compagnies en modifie la destination qui devient alors Turin ou Milan ! La liaison reliant désormais Paris et une ville ensoleillée d'Italie gagne indéniablement en

attractivité. Ce détournement de créneaux se pratique couramment dans le secteur du transport aérien, sans qu'il y ait violation de la réglementation européenne fixant les mécanismes d'allocation. Il constitue pour une compagnie une tactique efficace pour ne dévoiler qu'au dernier moment à la concurrence sa stratégie marketing et commerciale.

Revenons maintenant à la congestion. La première partie de ce document indique qu'il y a congestion lorsque trois critères sont réunis :

- une compagnie désire utiliser les infrastructures aéroportuaires à une heure donnée
- elle accorde à cette utilisation une utilité supérieure au coût d'extension marginal des infrastructures
- elle ne peut néanmoins les utiliser à l'heure à laquelle elle souhaitait

Tel est le cas lorsque les compagnies demandant un créneau et accordant à l'utilisation de ce créneau une utilité donnée, voient leur demande modifiée ou refusée. Dans le cas d'une modification, le créneau qui est proposé est décalé par rapport à celui souhaité : la compagnie désirait faire partir un appareil à 8h, elle ne pourra le faire qu'à 8h30. Dans le cas d'un refus, la compagnie souhaitait faire partir un appareil à 8h, elle ne pourra pas le faire partir du tout. Dans le premier cas, la congestion a pour coût la différence de valeur (c'est-à-dire d'utilité) entre celle que la compagnie accorde au créneau demandé et celle que la compagnie accorde au créneau obtenu. Dans le second cas, le coût de la congestion est assimilable au coût d'opportunité, c'est-à-dire au manque à gagner : il sera ici considéré comme étant égal à la valeur du créneau non exploité.

Pour mesurer le coût de la congestion en phase amont, nous devrions théoriquement procéder demande par demande, en connaissant pour chacune d'entre elles la valeur du créneau demandé, et en cas d'obtention d'un créneau, celle du créneau obtenu. Reste que la valeur d'un créneau est une donnée difficile à évaluer. D'abord pour des raisons réglementaires : en Europe, la valeur d'un créneau n'existe pas dans la mesure où les créneaux sont attribués à titre gratuit et ne peuvent être revendus ou même échangés sur une base différente du un pour un. En pratique, des marchés noirs se sont mis en place, en particulier à Londres, sur lesquels les créneaux sont monnayés. La valeur d'un créneau est ensuite une donnée fort convoitée et de fait très secrète. Enfin, cette valeur est très liée au contexte d'utilisation du créneau. Elle dépend de nombreux paramètres, dont voici quelques uns :

- la compagnie ; deux compagnies attribuent au même créneau une valeur différente en fonction de l'environnement concurrentiel, marketing ou de cohérence avec le reste de leur programmation
- l'aéroport
- la nature du vol (long courrier ou moyen courrier)
- le positionnement hebdomadaire du créneau dans la semaine (semaine ou week-end)
- la nature du créneau ; il n'a pas la même valeur s'il est répétable toutes les semaines pendant l'ensemble de la saison ou s'il est attribué pour une seule journée

L'irrationalité des comportements observés au sein du secteur du transport aérien peut être illustrée par les perceptions éminemment contradictoires de la valeur des créneaux. Prenons l'exemple d'une compagnie telle qu'Air Lib. Ses appareils partaient avec un taux d'emport relativement faible et la compagnie connaissait de grandes difficultés à l'accroître. Quand on l'interpellait sur l'éventualité de la mise en place d'un vol supplémentaire en semaine, son erreur était d'y être favorable. Elle ne se rendait pas compte que les autres vols lui coûtaient déjà très cher, plus que ce qu'ils ne lui rapportaient, et qu'en conséquence, un vol supplémentaire (et donc l'obtention d'un nouveau créneau) était synonyme de pertes accrues. Il aurait fallu qu'elle réalise que pour elle, un créneau ne valait pas grand chose et plus encore, que la valeur de ce dernier pouvait être négative.

Quand on l'interpellait sur l'éventualité de suppression d'un vol qui existait, elle réagissait vivement : un créneau vaut très cher, on ne peut en avoir à sa disposition sans les exploiter ! Un tel comportement n'a pas été étranger à sa faillite. On retrouve encore aujourd'hui ce comportement suicidaire qui traduit bien le fait qu'un créneau a une valeur assez impalpable pour les compagnies : il vaut à la fois très peu cher et très cher.

Cherchons maintenant à chiffrer la valeur d'un créneau. Deux approches s'offrent à nous. La première est empirique et consiste à observer à quelle hauteur se monnaye un créneau sur le marché noir londonien. Il nous a été communiqué qu'un créneau en heure de pointe pour une saison peut être négocié entre 1 et 2 millions de livres sterling, soit une valeur basse de 1400 000 EUR et haute de 2 800 000 EUR. La seconde approche est plus rationnelle et vise à considérer qu'un créneau vaut ce qu'il rapporte. Un bref calcul nous permet de déduire des comptes consolidés d'Air France qu'en moyenne, un vol coûte pour la compagnie environ 15 000 EUR. Sont inclus les frais de personnel, les charges externes, et les impôts ou taxes. En partant d'un chiffre d'affaires moyen par vol de 34 000 EUR, on aboutit à un excédent brut marginal par vol de 19 000 EUR. Un créneau

accordé pour une saison vaudrait donc 490 000 EUR, soit environ trois fois moins que les valeurs auxquelles se vendent les créneaux sur Londres ! Le niveau très élevé de vente des créneaux anglais et le caractère irrationnel de sa détermination sont sans aucun doute liés au phénomène de spéculation et à la volonté de la compagnie acheteuse d'empêcher que ses concurrents ne bénéficient de créneaux stratégiques.

Nous retiendrons la valeur de 19 000 EUR par créneau, obtenue de manière plus rationnelle.

Un dernier point de méthodologie reste à évoquer, avant de présenter les résultats des calculs. Il concerne la décote liée au décalage de créneaux. Nous faisons l'hypothèse simplificatrice qu'elle sera d'environ 20%, ce qui signifie que la valeur du créneau obtenu par la compagnie est 80% de celle du créneau initialement souhaité.

Nous épurons les demandes décalées ou refusées du phénomène de la spéculation, estimé à 11% : le volume des premières passe de 48 000 à 43 000, tandis que le volume des secondes passe de 17 000 à 15 000. Un bref calcul nous conduit alors au coût de la congestion en phase amont qui est :

$$C = 43\,000 \times (0{,}2 \times 19\,000) + 15000 \times 19\,000 = \underline{448\ M€}$$

Cette congestion porte sur Roissy et pour la saison été 2001. Un calcul analogue pour la saison hiver 2001 nous conduit au coût suivant :

$$C = 32000 \times (0{,}2 \times 19\,0000) + 5000 \times 19\,000 = \underline{216\ M€}$$

5. Mesure de la congestion en phase aval

Au cours de cette phase, la congestion s'exprime principalement sous forme de retards. Le grand public est donc plus familier de cette forme de congestion alors qu'il demeure souvent ignorant des mécanismes de créneaux horaires qui régissent le fonctionnement de Roissy.

Nous procéderons à cette mesure en trois temps :

- tout d'abord, présenter les différentes causes de retard et indiquer celles que nous retiendrons comme étant liées à la congestion,
- puis, évoquer les sources de coûts que nous utiliserons en précisant les incertitudes qui y sont associées,
- enfin, exposer les résultats auxquels les données dont nous disposions nous ont conduits

Méthodologie de mesure de la congestion en phase aval

Chaque retard que subit un vol sur Roissy est répertorié par la DGAC, et la compagnie gérant ce vol lui impute une cause. En pratique, cette imputation est faite, en fin de vol ou de journée, par le pilote de ligne qui s'appuie sur la nomenclature de causes de retards réalisée par l'IATA (International Air Transport Association). Cette nomenclature, portée en annexe 3, est pour le moins exhaustive puisque plus de quatre vingt dix causes de retard y sont mentionnées. Pour suivre de manière simple l'évolution des causes de retard, il a été nécessaire de regrouper ces nombreuses catégories en six catégories.

La première catégorie correspond aux retards dus aux compagnies elles-mêmes. Plusieurs raisons peuvent en être à l'origine : existence de mouvements sociaux, constat de dommages sur l'appareil, problèmes liés au traitement des bagages ou des services à bord…

La seconde catégorie correspond aux retards dus aux passagers. Le plus souvent, il s'agit de passagers qui sont arrivés après l'heure limite d'enregistrement ou se sont enregistrés dans les temps mais se sont présentés en retard à l'embarquement, malgré les appels du personnel au sol de la compagnie…

La troisième catégorie correspond aux retards dus aux services de la navigation aérienne. Ce type de retards survient par exemple lorsque le trafic est trop important pour pouvoir être géré par les contrôleurs aériens qui sont en poste. Plus rarement, il s'agit de pannes techniques au sein de centres de contrôle.

La quatrième catégorie correspond aux retards dus aux mauvaises conditions météorologiques. A chaque fois ainsi que l'aéroport de Roissy est plongé dans un brouillard épais, exposé à des vents forts, ou subit des orages, un retard moyen pour chaque vol de plus de quinze minutes est induit.

La cinquième catégorie correspond aux retards dus à la congestion des infrastructures. Il peut s'agir de retards induits soit par la saturation des aérogares (aux bornes d'enregistrement ou aux portes d'embarquement), soit par celle des capacités des piste (lorsque par exemple l'avion est obligé de patienter sur le taxiway avant de pouvoir décoller). Il est à noter que la congestion des infrastructures n'est qu'une des six causes de retards. Augmenter le nombre de pistes et la capacité des aérogares ne permettra certainement pas de réduire les retards lorsque la météo rend tout décollage ou atterrissage impossible, par exemple. Tous les retards ne sont donc pas des manifestations de la congestion, ceci avait été souligné en fin de première partie et devra être pris en compte.

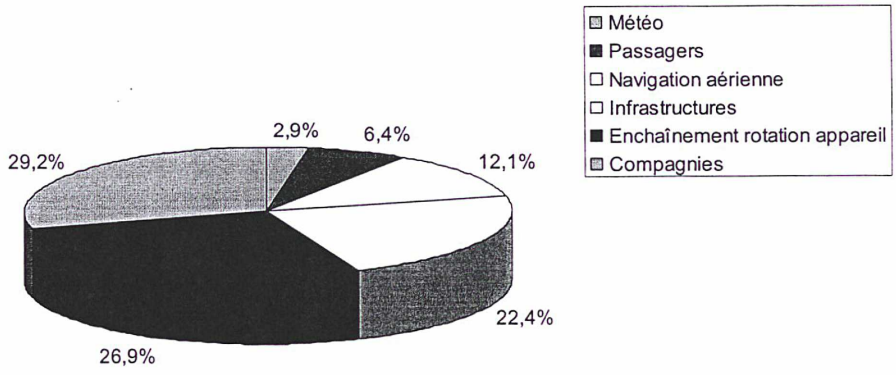
Ces cinq catégories précédemment évoquées sont reliées à des causes que nous désignerons par primaires, à la différence des causes secondaires, regroupées dans la sixième et dernière catégorie.

Elle correspond aux retards dus aux enchaînements de rotation, appelés aussi communément arrivées tardives de l'appareil. Il y a deux cas de figure dans lesquels un appareil décolle tardivement. Soit il arrive à l'heure pour être préparé mais des aléas opérationnels appartenant aux cinq catégories précédemment mentionnées en retardent le décollage. Soit l'avion arrive tardivement, et sans que sa préparation n'ait été anormalement prolongée, il repart en retard. La cause d'arrivée tardive est appelée secondaire ou encore induite dans la mesure où chaque arrivée tardive a pour origine une des cinq causes primaires.

Nous avons eu à notre disposition, grâce au Comité des Usagers du Transport Aérien (COMUTA dépendant de la DGAC), la répartition des causes de retard pour les retards de plus de 15 minutes. Nous avons fait l'hypothèse d'extrapolation suivante : tous les retards, même ceux inférieurs à 15 minutes, observent au niveau de leurs causes la même répartition, qui est celle dont nous disposons.

En 2001, de septembre à décembre, le retard moyen était de 18,3 minutes sur le seul aéroport de Roissy. La répartition des causes de retard de plus de quinze minutes qui constitue les seules statistiques disponibles, est par ordre croissant :

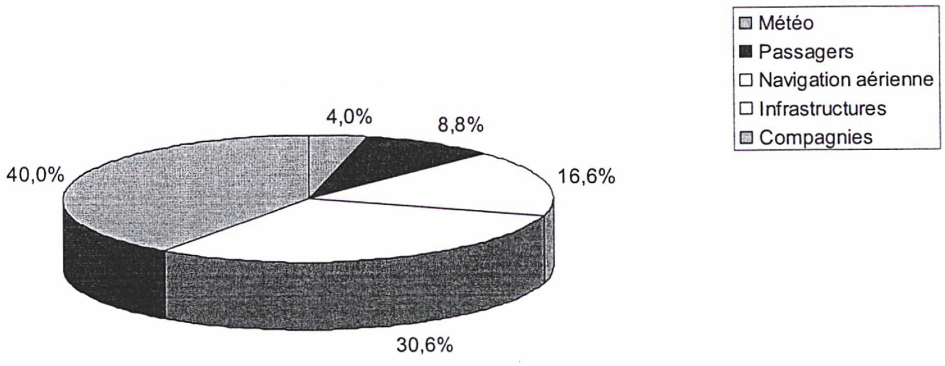
Répartition des causes de retard pour 2001



Considérer que 22,4 % de 18,3 minutes -soit 4,1 minutes- sont imputables à la congestion aéroportuaire conduit à sous-estimer l'impact de cette dernière sur les retards. Il faut prendre en compte une partie des retards dus aux enchaînements de rotation. Lorsqu'un retard est répertorié dans cette catégorie, cela veut dire que l'appareil a subi un retard de l'aéroport d'où il vient. Ce retard peut avoir pour origine un aléa opérationnel lié à la météorologie, ou à un passager, à la compagnie, ou encore à un dysfonctionnement du contrôle aérien, enfin lié à la congestion de l'aéroport de provenance. Nous ne connaissons pas la répartition des causes des retards sur l'aéroport de provenance. Néanmoins, on suppose qu'elle est la même que celle observée sur Roissy, cela revient à supposer que la congestion que l'on subit des autres aéroports est équivalente à celle que Roissy fait subir aux autres aéroports (congestion par ricochet, en quelque sorte). Avec cette hypothèse, on déduit que 30,6% des retards liés aux arrivées tardives d'appareils ont pour cause primaire la saturation d'infrastructures (de l'aéroport de provenance). Dit autrement, on a ventilé les retards de cause secondaire au prorata des causes primaires.

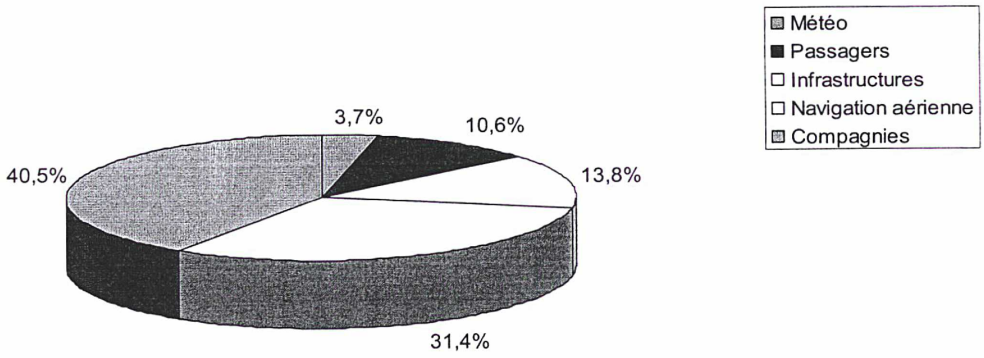
Pour conclure, nous retiendrons comme retard moyen dû à la congestion 5,6 minutes.

Répartition des causes primaires de retard pour sept-déc 2001



Si l'on s'intéresse à la période écoulée entre janvier et août 2001, nous obtenons un retard moyen de 17,4 minutes dont 2,4 sont dues à la congestion. La répartition des causes primaires de retard est illustrée ci-après.

Répartition des causes primaires de retard pour janv-août 2001



Alors qu'entre janvier et août, la catégorie « infrastructures » est en 3ème position et représente 13,8% des retards de cause primaire, elle passe à partir de septembre à la 2ème position, atteignant 30,6% des retards de cause primaire. Cette hausse et l'augmentation significative du retard moyen (de 17,4 à 18,3 minutes) induisent mécaniquement une différence perceptible au niveau du retard du à la congestion. Ce dernier, qui passe de 2 ,4 minutes à 5,6 minutes, a pour origine principale le renforcement des mesures et dispositions de sûreté qui ont immédiatement suivi les événements du 11 septembre 2001 : chaque passager passe plus de temps au niveau des filtres de sécurité, et à trafic constant, les aérogares se trouvent plus rapidement saturées.

Lorsque les différents acteurs subissant les retards avaient été présentés, nous avions indiqué que le fait qu'ils supportent les manifestations de la congestion avait un coût, et nous avions précisé que nous pouvions approcher ces coûts quand nous disposions de valeurs numériques de coût unitaire. C'est le cas pour :

- le coût supporté par les passagers.
- les coûts correspondant aux seuls coûts directs supportés par les compagnies.
- ceux, enfin, associés aux émissions polluantes et supportés par la communauté.

Exposons les différentes sources de coût unitaire et les incertitudes associées.

Concernant la valeur du temps pour les passagers, nous avons eu à notre disposition deux sources. La première est l'étude réalisée par l'ITA (Institut du Transport Aérien) en novembre 2000 (voir à ce sujet l'annexe

7 consacrée à la bibliographie). Une fourchette y était donnée : valeur basse de 34 EUR par heure et valeur haute de 44 EUR par heure. Un rapport émanant d'un groupe de travail du Commissariat Général du Plan qu'avait présidé en 2001 Marcel Boiteux avance, quant à lui, le chiffre de 45,7 EUR :

- la moyenne de toutes ces valeurs de temps est de 41,24 EUR par heure
- l'écart type est de 6,33
- l'incertitude sur nos calculs est donc de 15%.

Concernant la valeur du temps pour les compagnies, nous avons eu à notre disposition deux sources dont, toujours, l'étude réalisée par l'ITA. La valeur donnée était de 65,89 EUR par minute. Une autre association du secteur aérien (Air Transport Association) avançait une valeur moindre de 45 EUR par minute :

- la moyenne de toutes ces valeurs de temps est de 55,45 EUR par minute
- l'écart type est de 14,77 EUR par minute
- l'incertitude sur nos calculs est donc de 27%.

Enfin, concernant la valorisation des nuisances liées à la pollution atmosphérique, nous n'avons pu accédé qu'à une seule valeur de 12,9 EUR par minute. Un calcul d'incertitude est donc sans pertinence l'incertitude serait de 100%. Voici comment nous avons abouti à cette valeur.

Nous nous sommes appuyés préalablement sur les coûts par tonne des émissions en NOx, HC, CO et CO_2 qui étaient communiqués par l'étude de l'ITA. Nous avons ensuite supposé que les appareils émettaient essentiellement au roulage avant le décollage, et avons recherché la masse émise (en tonne) en chacune de ces quatre substances par minute de roulage, et ce pour neuf types d'appareils : A 320-300, A340-300, B737-400, B747-400, B777-300, MD83, A321, B767-200/300 et A310. Aisément, nous sommes parvenus à la liste des coûts unitaires par minute et pour chacun de ces avions. Nous avons fait l'hypothèse que sur Roissy, la flotte de l'ensemble des compagnies aériennes et celle d'Air France étaient de structure similaire, cette approximation reposant sur le fait que la compagnie française réalise sur cet aéroport plus de 52% du trafic. A partir de la composition de la flotte de la compagnies nationale, nous avons donc calculé un coût moyen par minute et par appareil, de 12,9 EUR par minute.

Les résultats de la congestion opérationnelle, c'est-à-dire en phase aval, découlent automatiquement de ces coûts unitaires.

Résultats des calculs de coût de congestion en phase aval

Coûts de la congestion pour les passagers

Sachant qu'il y a eu entre janvier et août 2001, 33 910 550 passagers, le résultat du calcul économique conduit à un coût de :

C = 33 910 550 x 2,4/60 x 41,24 = 55,8 M€, avec une incertitude de 8,6 M€.

Sachant qu'il y a eu entre septembre et décembre 2001, 14 029 284 passagers, le résultat du calcul économique conduit à un coût de :

C = 14 029 284 x 5,6/60 x 41,24 = 54 M€, avec une incertitude de 8,3 M€.

Sur l'ensemble de l'année 2001, le coût est de **109,8 M€** et l'incertitude de 16,9 M€.

Coût de la congestion pour les compagnies

Sachant qu'il y a eu entre janvier et août 2001, 353 087 vols commerciaux, le résultat du calcul économique conduit à un coût de :

C = 353 087 x 2,4 x 55,45 = 46,9 M€, avec une incertitude de 12,5 M€.

Sachant qu'il y a eu entre septembre et décembre 2001, 162 032 vols commerciaux, le résultat du calcul économique conduit à un coût de :

C = 162 032 x 5,6 x 55,45 = 50,3 M€, avec une incertitude de 13,4 M€.

Sur l'ensemble de l'année 2001, le coût est de **97,2 M€** et l'incertitude de 25,9 M€.

Au sein de cette somme, une fraction de 1,5% correspond à l'indemnisation des passagers (notons que 4,9% de la somme correspondent à des dépenses diverses pour les passagers de type alimentation et boissons. Nous avons choisi de ne pas la déduire de la valeur du temps perdu pour les passagers). Ces indemnisations que les compagnies versent aux passagers viennent en déduction du préjudice que les passagers auront à subir. Il convient donc de diminuer le coût pour les passagers de 1,5 M€ qui devient 108,4 M€, l'incertitude diminuant et passant à 16,6 M€.

Coût de la congestion pour l'environnement

Entre janvier et août 2001 , il est de :
C = 353 087 x 2,4 x 12,9 = 10,9 M€.

Entre septembre et décembre 2001 , il est de :
C = 162 032 x 5,6 x 12,9 = 11,7 M€.

Sur l'ensemble de l'année 2001, le coût est de **22,6 M€.**

Sur l'ensemble de l'année 2001, le coût total de la congestion en phase aval est de **228,2 M€.**

Quelques constats simples peuvent être dressés. Le coût pour les passagers représente 1,65 fois celui pour les compagnies : les passagers semblent donc supporter majoritairement le coût de la congestion aval. Les nuisances souvent médiatisées ont cependant un coût assez faible, qui représente 10% du coût total. Rappelons néanmoins que leur coût a été sous-estimé, la pollution sonore n'ayant pas été prise en compte.

6. Mise en perspective des résultats

Voici un tableau récapitulant l'essentiel des résultats concernant la congestion opérationnelle qui ont été précédemment mentionnés dans le corps du texte :

Acteurs	Coût unitaire	Coût Jan à Août 2001	Coût Sept à Déc 2001	Incertitude
Passagers	41 € / heure	56 M€	54 M€	15%
Compagnie	55 € / minute	47 M€	50 M€	27%
Environnement	13 € / minute	11 M€	12 M€	NA
Total		114 M€	116 M€	> 28%

Par ailleurs, le coût de la congestion en amont est de 665 M€ pour l'ensemble de l'année 2001, à comparer au coût de la congestion opérationnelle de 230 M€. Il est assez naturel que le premier soit supérieur au second (d'un facteur 2,9) dans la mesure où le système des créneaux est justement mis en place pour reporter la congestion de la phase opérationnelle à la phase amont.

Il peut être intéressant de comparer ce chiffre de 895 M€ au coût moyen de travaux de rénovation, d'extension, de construction portant sur les infrastructures.

Récemment, des travaux de rénovation de l'aéroport CDG ont été réalisés :
- le terminal T9, rebaptisé T3, a été étendu et rendu plus confortable pour les passagers grâce à un investissement de 23 M€
- l'aérogare 1, ouvert en 1974, a fait l'objet d'importants travaux de réhabilitation dont le coût est estimé à 225 M€ sur 4 ans, soit une dépense annuelle de 56 M€

La congestion dans sa globalité semble donc coûter entre 15 et 40 fois plus cher que ces travaux de rénovation.

Est encore plus pertinente une comparaison entre ce chiffre de 895 M€ et le montant d'investissements qui ont pour objectif de réduire la congestion. De tels travaux prévoient souvent un re-dimensionnement

significatif des capacités : amélioration et extension des infrastructures existantes, création de nouvelles infrastructures... Cette comparaison se déroule en deux temps.

Il faut tout d'abord parvenir à identifier clairement le facteur limitant des infrastructures qui est à l'origine exclusive de la congestion -entre les aérogares et les pistes-. Dans le cas de Roissy, il semble que la capacité des pistes ne soit pas le facteur limitant de la saturation, mais que ce sont en fait les aérogares qui sont aujourd'hui saturées (ce point est détaillé dans la troisième partie de ce document).

Dans un deuxième temps, une fois l'identification de ce facteur limitant effectuée et admise, on pourra apprécier les travaux d'amélioration et surtout de création d'infrastructures qui sont à lancer pour éliminer totalement, pendant une période donnée, la congestion. Il s'agira par exemple de construire une aérogare, et, sur celles existantes, d'accroître le nombre de points de contact qui permettent aux avions de s'y accoler et de rapidement débarquer les passagers. A défaut d'un point de contact disponible, l'avion doit atterrir au sol et un bus doit amener les passagers jusqu'au hall d'arrivée.

La mise en regard du coût de la congestion (environ 900 M€) et des investissements associés aux travaux permet de dresser un premier constat : on ne devra pas chercher à supprimer la congestion si les investissements nécessaires pour l'éliminer pendant une période de temps donnée sont supérieurs au coût de la congestion supporté par les différents acteurs pendant cette même période.

Notons que nous n'avons pas procédé à l'analyse détaillée portant sur la nature des travaux qui permettraient de supprimer la congestion. Néanmoins, nous avons retenu quelques investissements chiffrés sur lesquels nous nous appuierons. Nous avons ensuite élaboré un indicateur très simple : ratio d'investissement sur congestion, qui est calculé comme le rapport entre le coût des travaux pour réduire la congestion d'une part, et le coût annuel supporté à cause de la congestion d'autre part. Pour que les travaux soient lancés, il faut que le ratio soit supérieur ou égal à la durée pendant laquelle la congestion serait réduite.

Voici quelques investissements constituant autant de repères chiffrés :

- En 1999, le terminal 2F a été mis en service et a coûté 500 M€. Le ratio d'investissement sur congestion est de 7 mois
- Le terminal 2E, qui a été ouvert en juin 2003, a coûté 650 M€ . Le ratio d'investissement sur congestion est de 9 mois

Ces résultats permettent de dégager une conclusion intéressante : toutes choses égales par ailleurs, si l'on considère que la construction d'une nouvelle aérogare de même nature que l'aérogare 2 E (resp. 2F) représente les travaux qui permettent la suppression de tous les coûts de congestion identifiés, alors ces travaux sont à lancer à condition que la durée pendant laquelle ils permettent une annulation de la congestion est supérieure à 7 mois (resp. 9 mois).

Remarquons que si les pistes avaient été identifiées comme le facteur limitant, et si l'on suppose que, par exemple, la construction du dernier doublet et les aménagements liés au deux pistes principales (n°1 et 2) supprimeraient tous les coûts de congestion, sachant qu'ils ont représenté pour ADP un investissement de 300 M€, le ratio d'investissement sur congestion serait d'à peine 4 mois.

Il serait opportun de souligner deux aspects particuliers de cette démarche :

- L'hétérogénéité des coûts (ou assimilés) que nous avons cités. Certains relèvent de coûts économiques au sens de dépenses identifiables. Citons par exemple les heures supplémentaires, le coût de carburant. A l'inverse, certains relèvent de coûts moins directs ou plus socio-économiques tels l'impact sur l'environnement, les coûts passagers ou l'impact sur l'image des compagnies aériennes.
- Une question qui peut légitimement se poser est de savoir qui paie effectivement les coûts que nous évoquons. Certains sont effectivement payés par ceux qui les supportent : compagnies aériennes notamment. D'autres par la collectivité (travaux d'insonorisation, etc.), d'autres encore par des source diverses (coût du retard du passager) et d'autres enfin 's'évanouissent' tels les coûts de pollution qui ne sont pas réparés.

Ces remarques doivent donc nous appeler à modérer l'analyse chiffrée que nous pourrons faire de la somme que nous avons réalisée, qui regroupe en son sein des coûts de natures et de sources différentes.

III. Mécanismes actuels de réponse à la congestion et perspectives

Nous avons mis en évidence dans la partie précédente un coût de congestion approximatif de 900 millions d'euros en 2001 sur l'aéroport de Roissy CDG. Nous avons également évoqué quelques coûts typiques d'extension des infrastructures aéroportuaires afin de mieux apprécier l'ordre de grandeur de ces coûts de congestion.

L'extension des infrastructures est pourtant loin d'être la seule solution imaginée ou mise en application pour réduire la congestion, et c'est de loin la plus coûteuse. L'objectif de cette partie est de présenter ces solutions, mais aussi d'en apprécier leur pertinence et leur potentiel au travers de quelques éléments chiffrés.

1. Introduction aux différentes solutions à la congestion

Avant d'entamer cet aperçu, nous nous proposons de rappeler quelques distinctions que la théorie économique dresse souvent concernant ce type de solutions. Ces distinctions se recoupent souvent sans vraiment se recouvrir. Leur énoncé nous permettra ensuite de mieux caractériser chacune des mesures évoquées.

Première distinction : les mesures en commande et contrôle versus les mesures d'incitation. Dans le premier cas, un réglementeur unique impose unilatéralement un équilibre, en allant généralement à l'encontre de l'intérêt du réglementé individuel. Tandis que dans le deuxième cas, des instruments de marché sont mis en place, afin que l'intérêt individuel du réglementé coïncide avec l'optimum collectif que souhaite le réglementeur.

Deuxième distinction : les mesures de type centralisé versus de type décentralisé. Dans le premier cas, un réglementeur unique dispose de toute l'information et impose à chacun ses décisions. Tandis que dans le deuxième cas, chaque agent va lui-même prendre sa décision en réalisant un arbitrage à son niveau individuel.

Troisième distinction : la réglementation sur la quantité versus sur les prix. Dans un premier cas, chaque agent se voit attribuer une limite de type quota qu'il ne peut dépasser. Dans un deuxième cas, c'est le prix qui est fixé, décourageant ainsi ceux qui ont une propension à payer inférieure.

2. Limitation du nombre de créneaux disponibles

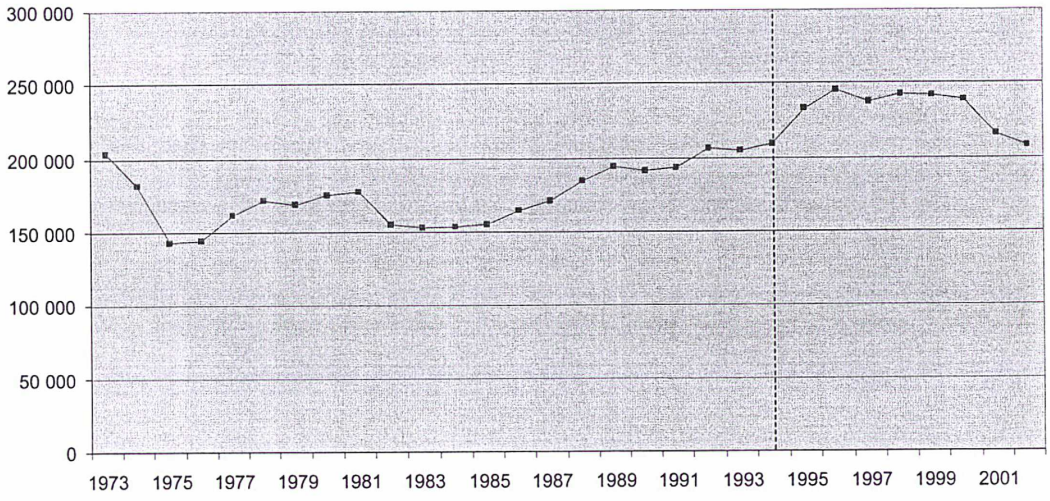
La solution ici exposée relève d'une réglementation par les quantités : on impose un quota de créneaux utilisables sur un aéroport, qui ne peut être dépassé et que le coordonnateur est chargé de prendre en compte lors de l'allocation. Cette restriction de créneaux n'est évidemment efficace que si l'on suppose qu'un appareil ne peut décoller ou atterrir s'il n'a pas obtenu au préalable un créneau pour l'heure correspondante. Une telle mesure est un outil de commande et de contrôle et nécessite donc, pour être appliquée, une surveillance étroite menée par les pouvoirs publics.

Le système de créneaux, déjà évoqué lors de la présentation, en deuxième partie, de la congestion en phase amont est plus amplement détaillé en annexe 1. Les principes de son fonctionnement et ses faiblesses y sont rappelés. Parmi les faiblesses, figure le phénomène de spéculation décrit en deuxième partie qu'aucun règlement n'interdit et qui constitue pourtant un facteur fortement limitant de l'efficacité du mécanisme.

Une solution de limitation du nombre de créneaux disponibles a été apportée sur l'aéroport d'Orly. Cela s'est fait en deux temps. Un décret du 26 avril 1994 a d'abord fixé le trafic de l'aéroport d'Orly à environ 200 000 mouvements annuels. Le quota, augmenté à 250 000, a ensuite été officialisé et rendu public par un arrêté du 6 octobre 1994 (cf. annexe 5). En définitive, le nombre maximal d'avions autorisés à Orly est donc de 125 000 par an, puisque chaque avion effectue nécessairement un atterrissage avant de repartir par un décollage. Cette restriction est donc forte : elle impose une moyenne de 343 avions par jour traités sur Orly.

L'objectif de cette mesure est explicitement de réduire les manifestations de la congestion comme les nuisances sonores que subissent les riverains. Les pouvoirs publics exploitent ainsi un des deux buts du mécanisme des créneaux qu'est la réduction de la congestion. Qu'en est-il de l'efficacité de cette mesure ? Elle peut être illustrée par l'évolution du nombre annuel de mouvements : une brusque augmentation en 1994 et 1995 a fait atteindre prématurément le plafond imposé, lequel a été frôlé jusqu'en 2000 avant qu'une baisse sensible ne soit observée. Le nombre annuel de mouvements en 2002 était au niveau de celui de 1994.

Evolution du nombre annuel de mouvements sur Orly



Notons qu'un autre exemple de limitation du nombre de créneaux est l'instauration du couvre-feu sur Orly toujours qui porte drastiquement à 0 le nombre de créneaux utilisables entre 23h30 et 6h : en pratique, les décollages sont interdits entre 23h15 et 6h00, et les atterrissages entre 23h30 et 6h15. Ce couvre-feu avait été rendu effectif par une décision prise en 1968 (cf. annexe 5) et bien respecté. Notons qu'ici était visée la réduction non pas de la congestion (elle est quasi inexistante la nuit) mais celle des nuisances sonores auxquelles sont exposés les riverains et dont le coût supporté par ces derniers décuple en période nocturne.

L'efficacité de cette mesure semble indéniable si l'on considère le seul aéroport d'Orly. Or le transport aérien au départ et à l'arrivée de Paris fonctionne en bi-pôle : cette mesure, en empêchant un équilibrage de la croissance du trafic entre les deux aéroports parisiens, renforce artificiellement celle constatée sur Roissy. Le coût que ne supportent plus les riverains d'Orly est transféré à ceux vivant à proximité de Roissy. En imaginant qu'une telle politique soit mise en place sur Roissy, on peut supposer qu'un transfert de croissance aura lieu sur Francfort, Londres ou Amsterdam. Cette mesure présente donc le grand désavantage de résoudre localement le problème de la congestion en le reportant sur d'autres aéroports…

3. Délestage vers d'autres aéroports, en période nocturne ou diurne

En France coexistent des aéroports congestionnés (Roissy, Orly, Lyon Saint-Exupéry...) et d'autres qui ne le sont pas ou peu (Beauvais, Nice...). Il est assez naturel dès lors d'essayer de réduire la congestion en rééquilibrant le trafic et sa croissance sur l'ensemble des plates-formes aéroportuaires.

En prenant l'exemple de Roissy, on peut imaginer que le délestage vers d'autres aéroports portera aussi bien sur des vols commerciaux (tourisme ou affaires) que sur des vols cargo destinés au fret.

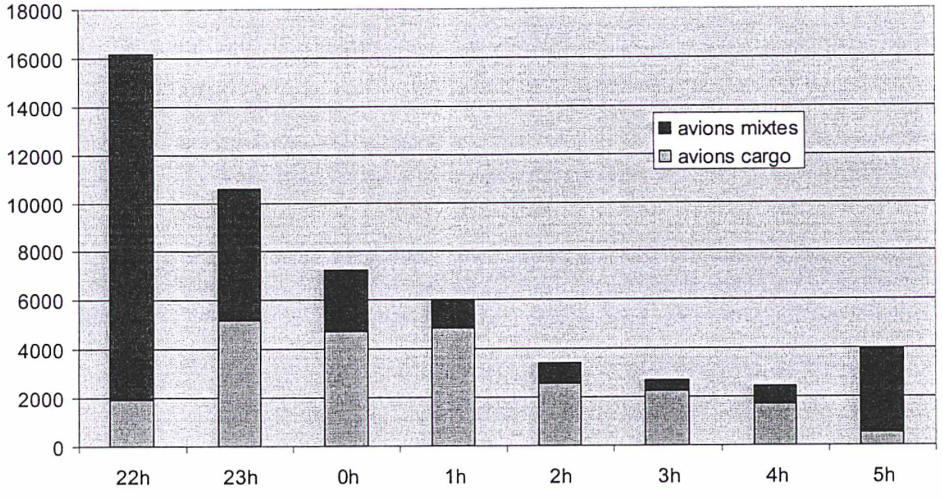
Déjà, l'aéroport de Beauvais draine des vols commerciaux : Ryan Air que s'y est implanté développe du trafic grâce à des offres tarifaires attractives. A destination non plus des vacanciers mais des hommes d'affaires, sont proposés au départ du Bourget des vols d'affaires. Du côté du fret, la plate-forme de Vatry (dont le plan de masse prévoit 330 000 mouvements annuels à l'horizon 2015) amorce modestement le délestage des vols cargo de Roissy en assurant 580 mouvements annuels. Ce nombre ira croissant, notamment grâce à la mise en place récente (datant du 17 février 2003) d'une navette quotidienne entre Vatry et Roissy. En pratique, c'est un camion équipé pour le transport de palettes et containers avions, qui part de Roissy à 20 heures pour y revenir vide quelques heures plus tard.

Aujourd'hui, le délestage peut être encouragé. C'est le cas des deux premiers cas de figure cités : les vacanciers sont incités via des offres tarifaires extrêmement avantageuses que leur proposent des compagnies low cost à partir de Beauvais plutôt que de CDG. Dans le cas des vols d'affaires, le choix est là encore laissé au soin des passagers.

Il peut également être indirectement imposé, comme dans le cas du fret. Arrêtons-nous un instant sur la façon dont cet outil de commande et de contrôle est aujourd'hui utilisé pour le fret avant d'étudier son utilisation pour le trafic passagers et les conséquences en découlant.

Dans le cas du fret, cet outil est mis en place à travers une limitation des vols de nuit sur les aéroports parisiens. Les pouvoirs publics ont déjà limité les vols de nuit sur Orly (instauration du couvre-feu) et ont commencé à imposer de telles limitations sur Roissy. Le ministre, Gilles de Robien, a proposé en juillet 2002 plusieurs orientations dans ce sens. Or la grande majorité des vols de nuit concerne le fret aérien : soit le fret express, soit le courrier postal ; les opérateurs de fret acheminant la nuit pour assurer une livraison en J+1. Le graphique suivant le montre, en illustrant par tranche horaire pendant la période 22h-6h le nombre de mouvements d'avions cargo (entièrement dédiés au transport de palette, de colis et de frets spécifiques) et les avions mixtes (en fait, des avions transportant des passagers mais dont la soute peut transporter jusqu'à 20 tonnes de fret).

Répartition fret/passagers des vols de nuit (année 1999)



Revenons sur les orientations du ministre. Air France devra, à la demande du gouvernement, d'ici la fin de l'été 2003 supprimer la quasi-totalité de ses vols entre 0h et 5h. La Poste, quant à elle, devra réduire de 30% ses vols de courrier postal pendant la même période. Les pouvoirs publics ont par ailleurs notifié que les décollages non programmés pendant cette période seront, sauf exception ponctuelle, interdits. Enfin, les créneaux horaires abandonnés par ceux qui les exploitaient ne seront pas réaffectés au trafic nocturne.

L'impossibilité d'obtenir des créneaux nocturnes ou de les remplacer par des créneaux diurnes sur CDG d'une part, et les fortes prévisions de croissance du fret aérien (de 5% à 7% par an) d'autre part, conduisent les transporteurs de fret à réfléchir à des solutions de repli à long terme : ils essaient de reporter progressivement leur trafic vers d'autres d'aéroports. Ce report portera à la fois sur le trafic nocturne (ce à quoi s'attaquait le gouvernement) et inéluctablement celui de la journée. On ne peut en effet imaginer que les opérateurs de fret acceptent d'acheminer dans la journée des colis vers une plate-forme aéroportuaire donnée, puis qu'à compter d'une certaine heure, ils les acheminent vers une autre plate-forme avant de les faire partir dans la nuit par voie aérienne vers leurs expéditeurs. On voit donc ici comment un délestage nocturne des vols de fret entraîne de façon mécanique un délestage en période diurne, plages d'heures de pointe incluses.

Ce délestage permettrait donc de réduire la congestion, non pas pendant la nuit où elle est quasi nulle, mais en journée. Toutefois, nous le soulignerons encore dans le paragraphe 'optimisation des mouvements de fret', tout levier d'action jouant sur les mouvements de fret demeure d'efficacité limitée puisque ces mouvements représentent seulement 7 % du total des mouvements sur CDG (40 000 mouvements sur un total de plus de 500 000).

En supposant que le délestage soit retenu par le gouvernement et donc imposé, il n'est pas certain que les opérateurs de fret acceptent d'abord d'abandonner l'exploitation de leurs infrastructures sur CDG puis acceptent d'implanter de nouvelles infrastructures sur la plate-forme recommandée par les pouvoirs publics.

Concernant le premier point, il faut dire que les investissements liés à ces infrastructures sont colossaux, d'autant plus que l'activité d'acheminement de fret nécessite des équipements spécifiques. Ainsi, FedEx, leader mondial du fret express, a inauguré en 1999 à CDG une nouvelle plate-forme principale de redistribution en Europe, faisant de l'aéroport francilien son hub européen et le 2ème au niveau mondial. Ses investissements s'élèvent à plusieurs milliards d'euros. Air France avait aussi investi massivement, en créant en 1999 une nouvelle aérogare de fret ultra-moderne appelée G1XL. La première des trois tranches correspondant aux travaux à coûté à Air France plus de 60 millions d'euros.

Concernant le second point, il faut souligner que les plates-formes évoquées aujourd'hui pour recevoir le trafic délesté sont des aéroports de province, telles que Vatry ou Châteauroux, qui sont loin d'offrir tous les avantages d'un hub similaire à CDG. Or tout opérateur de fret spécialisé souhaite développer son activité, par nature transfrontalière, sur un aéroport proposant un nombre élevé et une grande variété des dessertes (pour CDG : 163 villes au départ de Paris via 385 vols hebdomadaires, et représentant une capacité d'emport de 15 565 tonnes). Un colis peut ainsi arriver sur le hub en journée, transporté dans la soute d'un avion mixte en provenance d'Asie, et repartir depuis la même plate-forme par un vol de nuit géré directement par FedEx en direction de l'Amérique du Nord. Sachant que la majorité des colis d'une part, provient de l'étranger et arrive donc sur une plate-forme d'envergure internationale comme CDG, et que d'autre part, elle est acheminée en journée par soute d'avions transportant des passagers (avions dits mixtes ou combi), ce colis, s'il avait dû repartir d'un aéroport de province, aurait dû y être préalablement acheminé. De nouvelles infrastructures reliant autrement que par voie aérienne Roissy et cet aéroport de province doivent être construites, la chaîne logistique est rendue plus complexe et donc plus fragile. Un délestage imposé de cette manière ignore les stratégies construites à partir de la présence d'un hub. Il ne résout guère le problème de congestion dans la mesure où une telle solution transférera la congestion vers d'autres hubs qui seront prêts à recevoir les opérateurs de fret : l'aéroport de Bruxelles accueille déjà l'opérateur DHL, celui de Cologne UPS, celui de Liège enfin TNT...

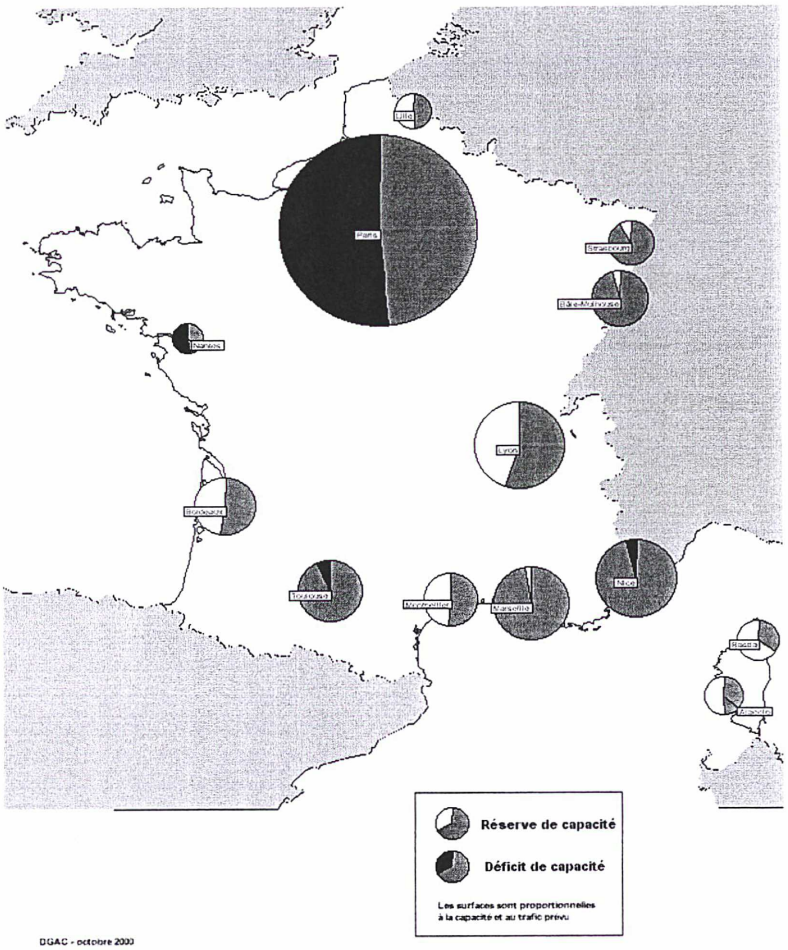
Le gouvernement pourrait également imposer un délestage en ciblant ici non plus le fret mais le trafic passagers. L'effet sur le niveau de la congestion serait certainement de le réduire de manière plus significative. Reste que les réticences des transporteurs aériens seraient identiques à celles des opérateurs de fret. Les conséquences de ce délestage seraient, en outre, de réels dommages, variables en fonction des modalités de délestage. Si Air France était impliqué par ces mesures gouvernementales, le dommage sera la destruction de son hub, sauf à décaler l'intégralité des vols, ce qui n'est pas raisonnable. Si d'autres compagnies qu'Air France étaient impliquées, elles seraient obligées de s'implanter sur une autre plate-forme que Roissy : elles seraient de fait privées du potentiel de trafic drainé par le hub de la compagnie nationale et surtout se retrouveraient beaucoup plus éloignées de Paris qu'Air France. Une telle mesure serait alors une atteinte grave à la concurrence.

En conclusion, le délestage comme remède à la congestion apparaît de portée limitée. L'analyse précédente semble indiquer que plus ce remède est efficace pour réduire la congestion, plus les effets secondaires qui accompagnent son utilisation sont graves.

4. Extensions des capacités aéroportuaires

En France comme dans tous les pays développés, chacun s'accorde à affirmer que le trafic aérien a fortement augmenté ces dernières années et que le scénario le plus probable à moyen terme est un maintien d'un fort rythme de progression. De multiples aéroports à commencer par CDG ont mené, mènent ou envisagent de mener des travaux d'extension : à titre d'exemple, Nantes où le débat public sur un nouvel aéroport est en cours, ou encore Toulouse. La carte ci-dessous confronte l'offre et la demande de transport aérien telles qu'elles existeront en 2020 et illustre bien un déséquilibre sur les aéroports précédemment cités (Roissy, Nantes, Toulouse). Nice fait également partie de la liste.

Capacité des principaux aéroports français en 2020



Plusieurs commentaires doivent être faits concernant cet outil dont on a vu qu'il était amplement évoqué à Paris et en province.

Il a vocation à répondre assez naturellement au problème de congestion en phase amont (via une augmentation significative du nombre de créneaux allouables et exploitables), et partiellement aussi au problème de congestion en phase aval dans la mesure où il s'attache à accroître le taux d'utilisation des infrastructures (cf. quatrième partie consacrée à la modélisation). Deux approches sont possibles : mieux structurer la demande et de fait diminuer la capacité demandée ou augmenter celle qui est offerte ; cet outil utilise le deuxième levier d'action.

Il est très souvent cité comme l'outil à utiliser prioritairement pour réduire la congestion. Il faut prendre conscience que cet outil n'est pas le seul à exister, cette partie en a présenté un certain nombre. Il n'est pas par ailleurs le plus pertinent dans certains cas de figure. Bien au contraire, le caractère fastidieux de l'étude,

la décision puis la mise en œuvre de travaux d'extension d'infrastructures en font un outil à n'utiliser qu 'en dernier recours, lorsque tous ceux qui visaient à agir sur le taux d'utilisation des infrastructures en induisant une diminution de la capacité demandée ont déjà été mis en œuvre.

Cet outil est à utiliser avec précaution : il est important que les infrastructures qui feront l'objet des travaux d'extension aient été identifiées comme le facteur limitant des capacités aéroportuaires. A quoi cela servirait-il de construire une cinquième piste sur CDG si les aérogares existantes ne sont pas capables de traiter le flux passagers associé ? Nous avions à cet égard rappelé dans la seconde partie, paragraphe 2.5, que la capacité des aérogares semblait aujourd'hui être le facteur limitant de la saturation.

Cet outil pose des problèmes de financement. Qui doit en être responsable ? L'exploitant aéroportuaire ? L'Etat ? Les compagnies doivent-elles y participer ? Dans l'affirmative, comment intégrer ce coût d'extension dans leurs charges pré-existantes ?

Enfin, cet outil peut se révéler moins efficace que ce qui n'était attendu. Il est en effet probable que des effets antagonistes sur le niveau de la congestion de cet outil soient observés : dans un premier temps, ces augmentations significatives de l'offre d'infrastructures permettront de réduire la congestion mécaniquement mais elles peuvent entraîner dans un second temps l'apparition d'une nouvelle demande qui était inhibée par les effets prohibitifs de la congestion.

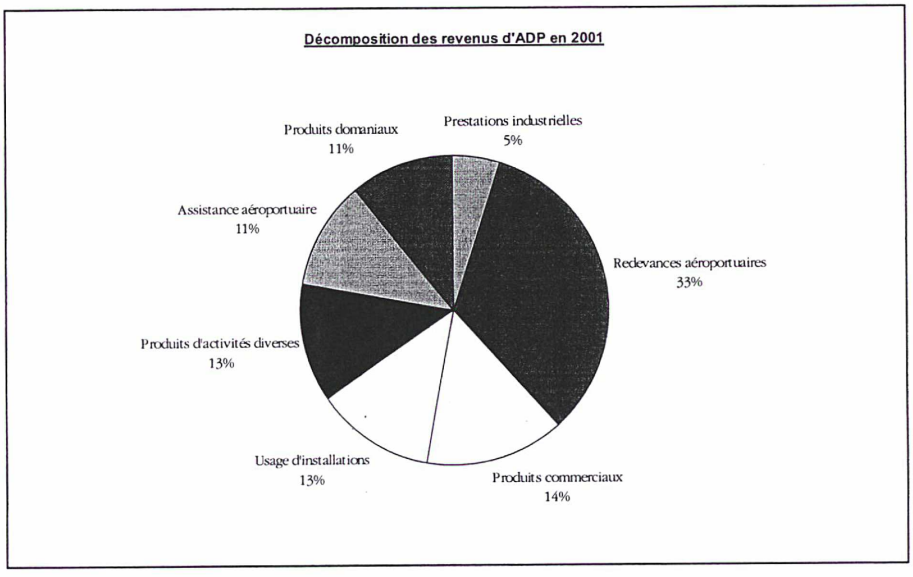
5. Les redevances aéroportuaires

L'économiste, au cours de son étude des différentes activités humaines, est toujours à la recherche d'instruments qui lui permettront de forcer chaque individu ou acteur à concourir à l'optimum collectif. Ces instruments incitatifs doivent en effet permettre de faire en sorte que l'optimum individuel pour chacun corresponde avec l'optimum général.

Les redevances aéroportuaires constituent un exemple parfait d'un tel outil incitatif. Pour reprendre les distinctions en introduction de cette partie, il s'agit d'un outil incitatif, décentralisé et qui relève plutôt d'une régulation par les prix.

A l'origine, elles sont définies sur la base d'un contrat entre transporteur aérien et exploitant d'infrastructure aéroportuaire. Le transporteur aérien, grâce à son contact direct avec le client final, encaisse usuellement les recettes liées à son activité. Pourtant, il lui serait impossible de la réaliser sans le concours de l'exploitant aéroportuaire, qui s'apparente ainsi à un sous-traitant ou un fournisseur. D'où la nécessité d'une rétribution de ce dernier pour les services qu'il rend à la compagnie aérienne.

Les sommes concernées ne sont pas anodines. Elles ont représenté 450 millions d'euros pour ADP en 2001, par exemple. Ce chiffre n'inclut par ailleurs pas le produit des redevances domaniales (qui correspondent à des loyers versés pour l'utilisation des terrains des aéroports).



Pour les compagnies aériennes, une étude de IATA (l'association des compagnies aériennes, un organisme international de rencontres et de lobbying pour les transporteurs aériens) estime que 5% des coûts des compagnies proviennent des redevances. En période de rentabilité très limitée des compagnies, ces 5% ont donc une importance non négligeable.

Le législateur ne reste bien entendu pas indifférent à cette transaction, et plusieurs textes forment la législation qui en assure la régulation.

Tout d'abord, l'article R224-2 (reproduit en annexe 4) du Code de l'Aviation Civile précise leur nature et quelques principes juridiques de détermination du montant. Quelques arrêtés complètent par ailleurs cet article. Figurent également parmi les règles de droit, même si elles n'ont pas de valeur impérative, les recommandations de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), qui est un organisme de concertation au niveau international pour tous les acteurs intervenant dans le monde du transport aérien.

Remarque : ces redevances entrent directement au compte de résultat et au bilan des exploitants aéroportuaires. Elles sont donc distinctes de la redevance de route (perçues pour les organismes du contrôle aérien), de la redevance pour services terminaux de la circulation aérienne ainsi que la taxe de l'aviation civile qui viennent servir le budget de l'aviation civile ainsi que du fonds d'intervention des aéroports. La taxe d'aéroport, enfin, est effectivement perçue par les exploitants aéroportuaires directement, mais pour financer les services de sécurité, de sûreté et les contrôles environnementaux. Elles sont ensuite directement prélevées sur le billet d'avion réglé par les usagers. Elles ne sont donc pas directement concernées par les lignes qui vont suivre.

Le Code de l'Aviation Civile, dans l'article R224-1, indique les domaines dans lesquels une redevance peut être perçue, tout en introduisant l'adverbe 'notamment', qui laisse de l'espace pour les futurs développements du secteur économique du transport aérien.

En revanche, l'article R224-2 choisit de réglementer cinq d'entre elles, qui sont en fait ce que l'on entend souvent par 'redevances aéroportuaires'. Ces cinq redevances correspondent aux situations suivantes :

- atterrissage des aéronefs de six tonnes et plus
- assistance à la navigation aérienne
- stationnement des aéronefs
- redevance passagers
- redevance carburant (qui vient rémunérer l'usage des installations, et non le carburant lui-même)

Le législateur a ainsi choisi de poser quelques grands principes dans la fixation de leur valeur. Concentrons-nous sur ceux qui auront une influence sur la suite :

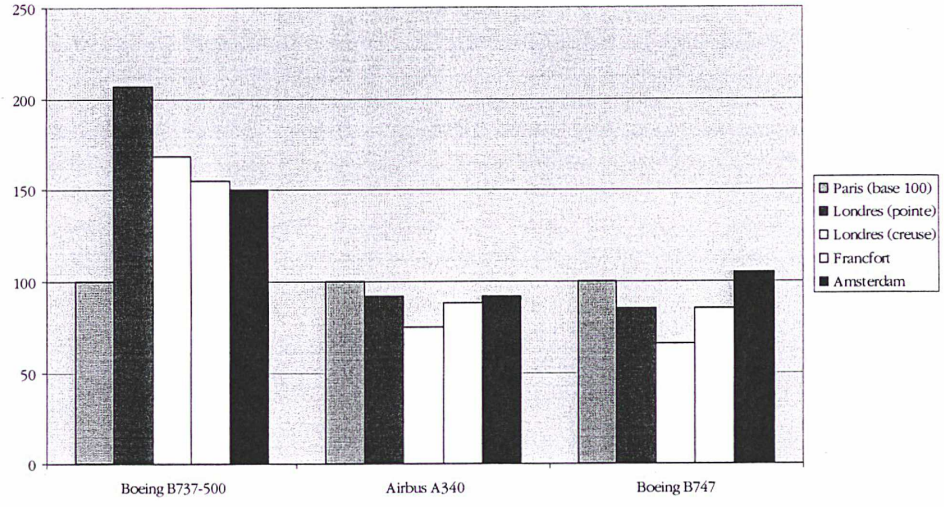
- leur niveau doit faire l'objet d'un contrôle par le politique (ministre de l'économie et ministre de l'aviation civile), puis être publié dans un arrêté interministériel
- leur niveau doit être 'approprié aux services rendus' aux usagers appelés à contribuer au financement du service ; et les redevances doivent être proportionnées au coût exposé par l'exploitant d'aérodrome
- principe d'égalité (principe général du droit)

Ces deux dernières lignes peuvent paraître simples et anodines mais elles cachent en réalité une grande rigidité dans l'utilisation de cet outil, rigidité qui a été confirmée par l'interprétation très stricte qu'en a faite le juge administratif. Il est par exemple extrêmement difficile de mettre en place une modulation des redevances.

Il est difficile également de fixer les redevances à un niveau qui permette de préparer le financement de futures infrastructures, puisqu'elles ne correspondent pas à des dépenses exposées par le gestionnaire d'aéroport, même si ces nouvelles infrastructures sont nécessaires au regard de la situation de congestion.

Avant de développer plus en détails ce dernier point, comparons pour différentes tailles d'avions le niveau des redevances sur les aéroports parisiens et sur les aéroports de Londres (en période de pointe, et en période creuse), de Francfort et d'Amsterdam. Ces chiffres regroupent en fait toutes les redevances (hors redevance carburant) pour l'année 2001 :

Comparaison des redevances sur les grands aéroports européens



On constate que les redevances sur les aéroports parisiens sont largement inférieures à la moyenne des autres grands aéroports européens, tandis qu'elles sont légèrement supérieures pour les grands avions.

Economiquement, ces résultats ont une portée qui dépassent l'équilibrage des comptes des exploitants aéroportuaires.

Les redevances ont en effet une valeur incitative pour les compagnies aériennes. Selon leurs valeurs relatives, les compagnies vont être amenées à réaliser des arbitrages entre aéroports, entre types d'appareils,

entre types de liaisons, entre heure de la journée... On cherche donc, par des signaux prix, à influer sur la demande de capacités des compagnies aériennes, afin de réduire la demande générale de façon la plus optimale (ceux qui ont réellement besoin de la ressource rare, donc ceux qui en tirent l'utilité la plus grande, sont aussi ceux qui sont disposés à payer le prix le plus élevé. Les redevances très variables vont donc prioritairement influencer et dissuader la demande la moins pertinente au profit de la demande la plus pertinente).

Si on adopte un point de vue plus proche des questions de congestion, on pourrait légitimement souhaiter user des redevances pour favoriser certains comportements susceptibles de réduire la congestion, et notamment : des modulations selon l'heure de la journée (heure de pointe, heure creuse) ou selon la taille des avions par exemple, pour inciter les compagnies à augmenter la taille des aéronefs, et à mieux utiliser les infrastructures, au final. Nous revenons sur ces deux objectifs d'étalement des vols sur la journée et d'augmentation de la taille moyenne des avions dans d'autres paragraphes de cette partie.

C'est ici qu'apparaissent le plus nettement les rigidités juridiques du droit français. Seules certaines modulations sont possibles :

- sur le poids de l'appareil et sur les nuisances sonores pour la redevance d'atterrissage, même si la justification de coûts différents supportés par l'exploitant aéroportuaire pour ce service fut difficile à justifier dans un premier temps
- sur la durée de stationnement et les dimensions de l'aéronef pour la redevance de stationnement
- sur la nature du vol (domestique, Schengen et international) pour la redevance passagers

Toutes les autres formes de modulation imaginées jusqu'à aujourd'hui sont non pertinentes ou impossibles au regard du droit français. Seuls Heathrow et Gatwick peuvent d'ailleurs en Europe moduler leurs tarifs en fonction des horaires d'utilisation des infrastructures (c'est la raison pour laquelle deux barres sont consacrées aux aéroports londoniens dans le graphique ci-dessus). D'autres aéroports mondiaux, tels Bombay et Mexico, ont également recours à la modulation horaire des redevances.

Les deux principes d'égalité et de proportionnalité au coût du service rendu génèrent donc une rigidité à l'envoi de signaux économiques.

Notons d'ailleurs deux observations principales :

- Les seules modulations aujourd'hui pratiquées ne sont pas toujours les plus pertinentes : ainsi la redevance d'atterrissage est supérieure pour les avions de grande taille, ce qui semble être à l'encontre d'un objectif de meilleure utilisation des infrastructures existantes. D'ailleurs, le graphique de la page précédente consacré à la comparaison des redevances pour les grands aéroports européens montre que la situation est notablement plus flagrante sur les plates-formes parisiennes. Notons toutefois que cette situation est en revanche très favorable pour la stratégie de hub d'Air France, qui nécessite un grand nombre de vols court et moyen courrier pour remplir les avions long courrier.
- L'expérience sur l'aéroport d'Heathrow montre que ce sont surtout les avions de petite taille qui sont sensibles aux modifications et modulations des redevances. Pas de surprise à cela puisque ce sont eux qui génèrent le moins de chiffre d'affaires et de résultat par appareil. Ce sont toutefois ces avions qui font aujourd'hui l'objet de toutes les attentions dans la lutte contre la congestion, puisque ce sont eux qui génèrent le plus grand nombre de mouvements sur la plate-forme de Roissy. La lecture du paragraphe de cette partie consacré à l'augmentation de la taille des avions fournit d'ailleurs des données chiffrées pour appuyer cette assertion.

Ce paragraphe permet finalement de confirmer d'une part l'intérêt potentiel que représenterait une modulation des redevances pour l'optimisation de l'utilisation des infrastructures et pour l'envoi de signaux prix afin de modifier la courbe de demande. C'est d'ailleurs une chance formidable pour le transport aérien que de disposer, d'origine, d'un tel dispositif. Il est en effet plus facile, politiquement, de jouer sur des redevances déjà existantes plutôt que d'en créer de nouvelles...

La législation, telle qu'elle se présente aujourd'hui, rend toutefois cette idée encore impossible. Une évolution dans le domaine n'est toutefois pas totalement imaginable. D'une part parce que le droit est une matière vivante. D'autre part parce que la Commission Européenne prépare aujourd'hui un projet de réglementation qui permettrait d'uniformiser les pratiques à l'échelle du continent. Peut-être quelques changements peuvent-ils en être attendus.

6. Pratique de l'intermodalité

Cette mesure vise ici encore à utiliser le délestage pour réduire la congestion. Deux différences le séparent néanmoins du délestage que nous avions présenté dans un paragraphe précédent. Il est d'abord modal et non géographique puisqu'il vise à transférer des passagers (ou marchandises) vers d'autres modes de transport, et non vers d'autres aéroports. Il est ensuite mené à l'aide d'outils non pas réglementaires mais incitatifs, on peut qualifier ces outils de décentralisés dans la mesure où, loin d'imposer une décision, ils laissent le soin à chaque agent de réaliser son propre arbitrage.

Nous tenterons de dresser un premier bilan de l'intermodalité telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui, à travers quelques chiffres, avant de nous interroger sur l'efficacité d'une telle mesure.

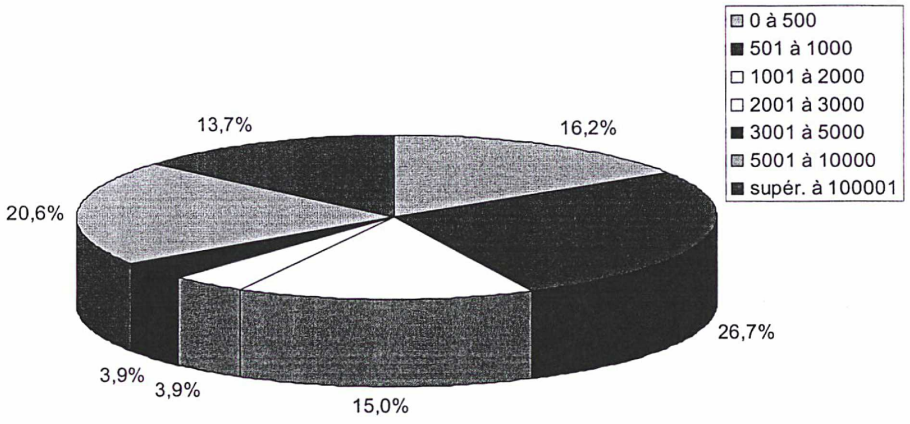
Prenons l'exemple du TGV Méditerranée qui encourage chaque passager au départ de la région parisienne à emprunter le train plutôt qu'un véhicule particulier ou même l'avion. Lancée en 2002, cette initiative a été très fructueuse auprès des passagers en déplacement pour motif personnel mais aussi professionnel. Quelques chiffres le prouvent : en 2001, les voyageurs professionnels empruntaient à 24,5 % le train et à 26,7% l'avion alors qu'ils étaient en 2002 34,4% à utiliser le premier mode et 24,9% le second. Un engouement similaire est à attendre lorsque sera ouverte la liaison TGV-Est. La mise en service du Thalys reliant les capitales française et belge est également un succès, à tel point qu'Air France a été découragé de mettre en place une liaison Roissy-Bruxelles et a préféré conclure un partenariat avec Thalys pour l'acheminement des passagers jusqu'à Roissy.

Une remarque est à faire quant au succès de l'intermodalité. Cette dernière ne pourra être fructueuse que si elle est choisie par les passagers et non si on leur impose. Le train sera préféré à l'avion si chaque passager en retire des avantages supplémentaires (durée de déplacement moindre, confort accrû, prix moindre, plus grande accessibilité du point de départ ou d'arrivée...). Il faut d'ailleurs faire un constat simple : celui qu'une heure d'avion équivaut à environ trois heures en TGV quand on considère la durée totale de déplacement (durée d'accès à l'aéroport, d'enregistrement, de passage au filtre de sécurité, d'attente à l'embarquement, au débarquement, lors du retrait des bagages...) Une fois les optimums de chaque individu atteints, il est à espérer qu'ils convergent vers l'optimum collectif visant à minimiser la congestion aéroportuaire.

Notons que l'intermodalité peut être mise en œuvre pour des trajets point à point mais aussi pour des trajets de transit. Un trajet de transit correspond alors à un tronçon d'un déplacement multi-tronçons.

Reprenons l'exemple du TGV Méditerranée. Il est assez probable que la majorité des passagers faisant un aller Paris-Marseille avait pour destination finale Marseille et sa région : ils ont substitué l'avion au train pour leur trajet point à point (encore appelé origine/destination). Il s'agit alors de report modal. Les voyageurs faisant un aller Marseille-Paris sont, eux, plus nombreux que ceux dans l'autre sens à effectuer un déplacement multi-tronçons avec une correspondance sur Paris : certains de ceux-là ont utilisé le train en combinaison avec l'avion. On parle alors d'intermodalité. Dans les deux cas, l'offre ferroviaire se substitue à une demande de transport aérien court-courrier. Le potentiel de substitution n'est d'ailleurs pas négligeable dans la mesure où les vols court courrier (faisant parcourir aux voyageurs une distance inférieure à 1000 km) transportent plus de 42% du nombre de passagers, comme le graphe qui suit l'illustre.

Répartition des passagers par tranche kilométrique



Ce chiffre de 42% est d'ailleurs une simple approximation du potentiel de substitution avion/train. C'en est une sous-estimation dans la mesure où certains vols long courrier sont en fait composés d'un court puis d'un moyen courrier. C'en est une surestimation dans la mesure où un vol court courrier est substituable par le train seulement si une liaison ferroviaire à grande vitesse relie Paris à la desserte concernée.

La question qui est maintenant posée est la suivante : comment rendre le report modal et l'intermodalité efficaces ?

Le premier est très dépendant des avantages spécifiques que propose le transport ferroviaire. Ils ont déjà été évoqués : durée de déplacement moindre, confort accrû, prix moindre, plus grande accessibilité du point de départ ou d'arrivée, et évidemment un resserrement du maillage ferroviaire permettant d'accroître le nombre des dessertes...Il est à noter que la réactivité des passagers est forte : en 2002, près de 60% des passagers entre Paris et Marseille utilisaient le TGV qui était mis en service depuis cette année seulement.

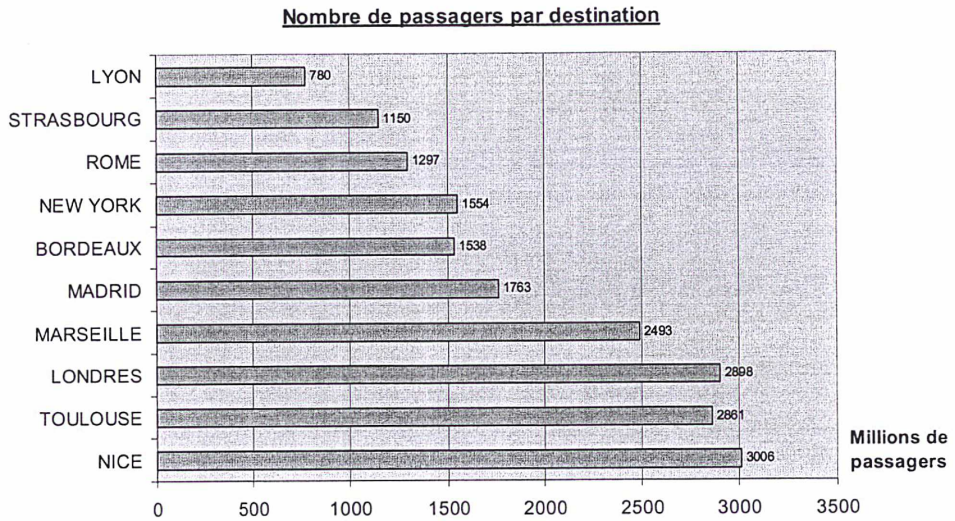
Concernant l'intermodalité, des efforts ont déjà été faits : 43% des passagers en correspondance entre TGV et avion, sur CDG, avaient choisi l'intermodalité alors qu'un poste ou pré-acheminement aérien était possible. Pour que ce chiffre augmente, les effort visant à faciliter aux passagers la correspondance entre une liaison ferroviaire et un vol doivent être maintenus. Il s'agit de bien concevoir les infrastructures mais aussi les services.

Coté infrastructures, celles déjà existantes sont à améliorer. Pensons à la gare TGV implantée à Roissy, qui ne permet pas un accès toujours aisé aux aérogares de départ, en raison des marches, bornes et autres obstacles qui empêchent à un voyageur de transporter ses bagages en les faisant tout simplement rouler ! La durée d'accès depuis Paris est également à raccourcir : le projet CDG Express reliant la gare de l'Est à la gare TGV-CDG en 15 minutes au lieu de 40 va dans ce sens. Les infrastructures en province ne doivent pas être oubliées. La diversité des liaisons avec Paris doit être accrue, leur durée réduite. Quelques projets allant dans ce sens concernent des dessertes telle que : Strasbourg, Toulouse, Nantes...

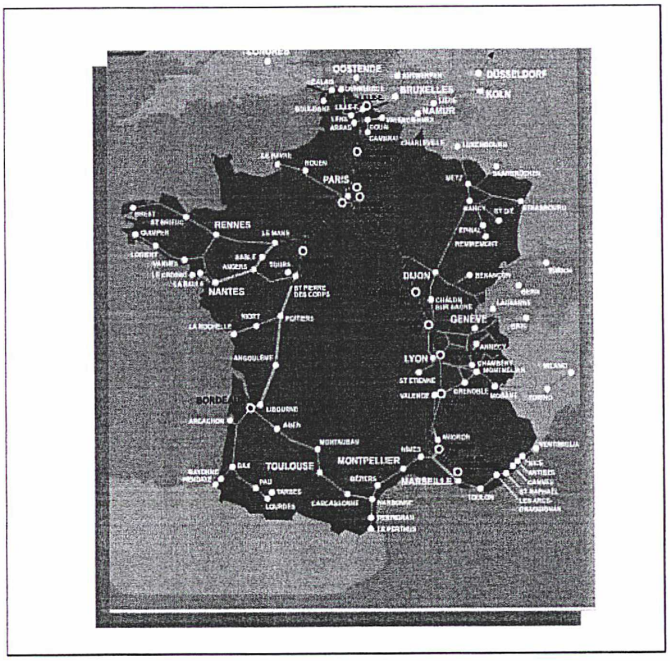
De nouvelles infrastructures doivent être déployées. A l'identique de ce qui existe sur Roissy, une jonction air-rail est à l'étude sur Orly. Elle permettrait d'assurer une interconnexion entre les deux aéroports parisiens et de proposer sur cet aéroport des perspectives d'intermodalité qui n'existent pas actuellement.

Si les infrastructures sont importantes dans le choix des passagers pour un mode de transport donné, ils accordent également aux services une importance à ne pas négliger. L'amélioration de ces services passe par une information et billetterie intégrées, la coordination des horaires, l'enregistrement et le traitement des bagages... Déjà, Air France, en partenariat avec la SNCF, propose, à travers l'offre «TGV'Air », aux passagers des billets combinés avion-train à une tarification avantageuse, leur permettant d'accumuler des Miles Fréquence Plus. Il faut encourager une intégration encore plus grande des politiques commerciales.

Essayons d'affiner la valeur du potentiel de substitution train-avion, et ce à partir des données illustrées ci-dessous qui représentent le nombre de passagers depuis CDG pour les 10 destinations les plus importantes en terme de trafic passagers et pour Lyon (au 22ème rang) :

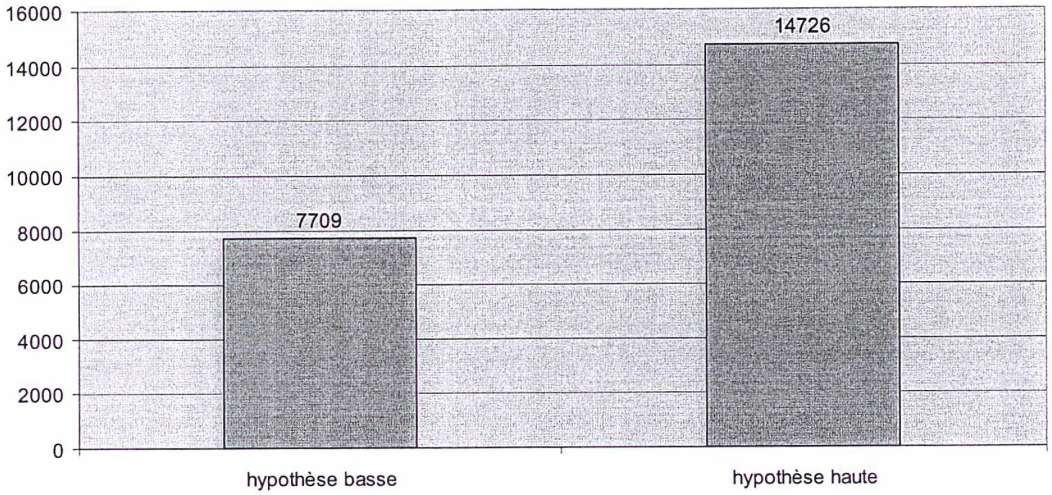


Le réseau grande vitesse aujourd'hui est ainsi maillé :



On constate donc que, pour certaines de ces villes, il peut y avoir une substitution intermodale totale : c'est le cas de Londres, Marseille, Lyon et Bordeaux également. Pour certaines telles que Nice, Toulouse, Strasbourg, elle ne sera que partielle. Enfin, le trafic de certaines dessertes (New York, Rome, Madrid), en l'absence de liaison grande vitesse, sont à exclure du potentiel de substitution. En envisageant deux scénarios (hypothèse haute, respectivement basse sur la substitution partielle), on obtient une fourchette située entre 8 et 15 millions de passagers, la moyenne étant autour de 11 millions de passagers.

Potentiel de substitution air-fer en millions de passagers

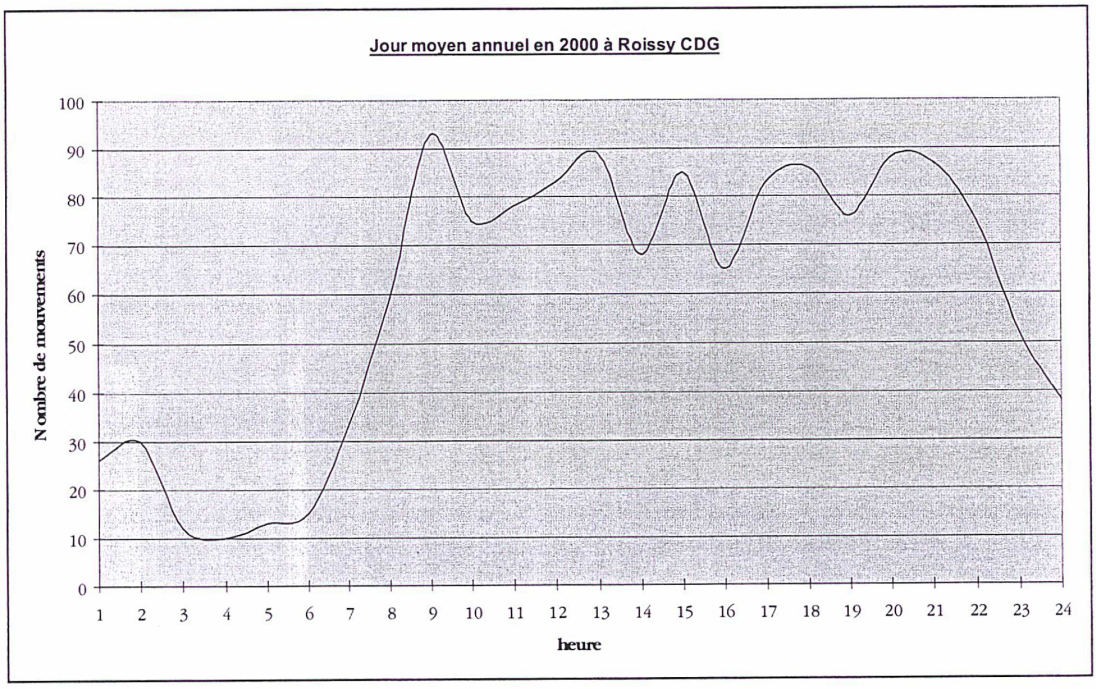


Le délestage modal, mené de manière incitative et volontariste, offre de réelles perspectives de réduction de la congestion : plus de 10 millions de passagers pourraient en 2020 se reporter du mode aérien au mode ferroviaire, le délestage du système aéroportuaire parisien ainsi réalisé représenterait un cinquième de la croissance prévisionnelle de trafic sur CDG (devant passer de 90 à 140 millions de passagers).

7. Etalement des horaires

Sans surprise, nous avons signalé et constaté que la majeure partie de la congestion identifiée lors de notre mesure méthodique sur l'aéroport de Roissy se manifeste pendant les plages de pointe. A l'inverse, la saturation est peu visible, voire nulle, pendant les heures creuses. Ce constat se vérifie aussi bien pour la congestion en phase amont que pour la congestion en phase aval.

Rééquilibrer le trafic pourrait ainsi paraître une solution pleine de bon sens pour répondre à la saturation sans avoir recours aux solutions plus brutales ou plus coûteuses évoquées dans les paragraphes précédents. Afin de mieux évaluer puis questionner l'opportunité d'une telle décision, considérons le profil des mouvements sur l'aéroport de Roissy CDG. Nous avons reproduit en deuxième partie l'évolution du trafic pendant le jour le plus animé de l'année 2000 (le 31 août 2000). Reproduisons ici le profil des mouvements pendant le 'jour moyen' de l'année 2000, qui est beaucoup plus caractéristique des améliorations potentielles :



Le graphique est en effet assez saisissant.

La première observation que l'on peut formuler est la netteté des vagues d'heures de pointe et d'heures creuses. Hors trafic de nuit, il s'agit bien de 5 vagues d'heures de pointe, la première et la dernière étant les plus denses (elles correspondent bien entendu à une clientèle d'affaires). Il peut donc paraître extrêmement séduisant d'amortir ces variations, voire même de les supprimer totalement. On se heurterait toutefois à plusieurs difficultés :

- tout d'abord, l'écart relatif entre heures de pointe et heures creuses est déjà assez réduit, surtout lorsque l'on compare à d'autres aéroports comme celui d'Orly, mais aussi celui de Nice pour ne citer que des aéroports de grande taille. Le gain lié à une uniformisation serait alors finalement assez réduit comparativement à la gêne occasionnée pour les usagers qui seraient décalés des heures de pointe (par définition, les heures qui leur apportent la plus grande satisfaction) et pour les passagers en heure creuse (qui verraient les phénomènes de congestion s'amplifier)
- par ailleurs, les 5 pointes en journée que nous avons évoquées ne sont pas sans évoquer les plages de hub (pour Air France notamment). Nous avons souligné en première partie de ce document tout l'intérêt que la stratégie de hub représente pour les grandes compagnies aériennes. Mais l'intérêt et la définition mêmes du hub tiennent dans l'arrivée puis le départ simultanés des appareils de l'entreprise. Toute autre stratégie reviendrait à faire longuement attendre les premiers passagers arrivés à l'aéroport, ce qui leur rend l'escale très désagréable et les incitera à se tourner vers une autre compagnie aérienne aux délais d'interconnexion plus brefs. Il en va donc de la pertinence de la stratégie commerciale des grandes compagnies de maintenir des vagues de hub compactes, et donc denses. Rappelons qu'Air France représente plus de 52% des vols

commerciaux de l'aéroport Roissy CDG. Les plages de hub que choisit la compagnie ne peuvent donc que provoquer des phénomènes de pointe tels que décrits dans la figure ci-dessus, sans qu'elle n'ait vraiment l'intention d'y renoncer. Les compagnies aériennes concurrentes pourront alors s'appuyer sur la nécessaire liberté de la concurrence pour demander le décollage de leurs appareils pendant ces mêmes heures de pointe, provoquant une amplification des disparités déjà fortes entre heures de pointe et heures creuses

- cette dernière réflexion nous conduit à aboutir à la question principale qui se dégage de cette proposition d'aménagement des mouvements sur une journée : qui accepterait de quitter les heures de pointe pour opérer en heures creuses ? On peut en effet prêter suffisamment de bon sens et de rationalité aux compagnies aériennes qui opèrent en heures de pointe pour imaginer qu'elles s'y retrouvent, et qu'elles préfèrent cette situation à celle où leur vol serait décalé en heure creuse (nous reviendrons plus en détails sur ce point dans la dernière partie consacrée à la modélisation de la congestion et du comportement des acteurs). Par ailleurs, les seuls vols qui sont probablement susceptibles d'être décalés sont probablement les vols qui concernent faiblement la clientèle d'affaire et fortement une clientèle dont la valeur du temps est plus faible (tourisme par exemple). La proportion de ces vols dans les périodes de pointe est assez faible, le bénéfice de cette mesure semble donc limité.

8. Augmentation de la taille des avions

La congestion et ses nuisances étant liées au nombre de mouvements d'avions, il pourrait paraître légitime de chercher à en réduire le nombre sans pénaliser le trafic passagers. La solution est alors l'augmentation de la taille moyenne des avions. Certaines réflexions sur la réforme du règlement européen traitant des créneaux aéroportuaires (cf. annexe 1) envisagent notamment de donner une certaine forme de priorité aux avions de taille plus conséquente lors de l'attribution de ces fameux créneaux.

Rassemblons quelques éléments pour apprécier la pertinence de cette piste de réflexion.

Tout d'abord, nous pouvons nous intéresser à la répartition des mouvements d'avions par type d'appareils sur les plates-formes parisiennes. Nous continuons à conserver l'année 2001 comme référence :

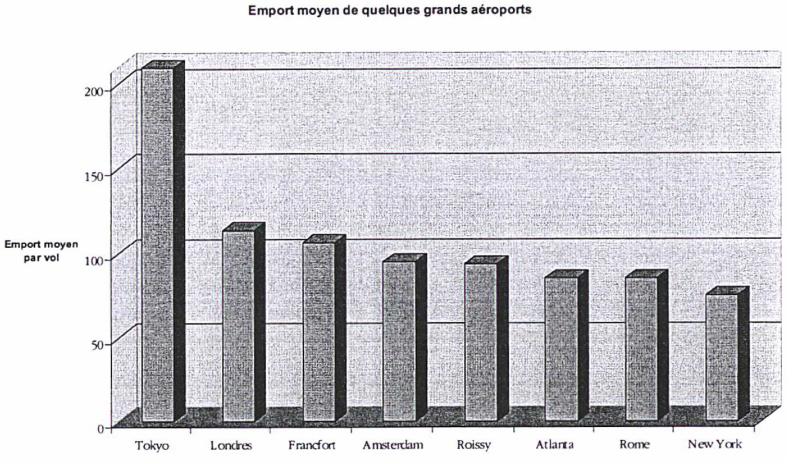
Type d'avions	Passagers Orly + CDG	Mouvements Orly+ CDG	Emport moyen	Part en % dans le nombre de mouvements
Airbus A319/320/321	25 017 704	232 085	108	31,8%
Boeing B737	10 868 389	139 787	78	19,1%
Douglas MD 80	4 441 063	51 876	86	7,1%
Avroliner RJ 70/85/100 & BA1	1 636 412	30 575	54	4,2%
Boeing B747	8 197 455	30 310	270	4,1%
Fokker 100	1 652 707	26 931	61	3,7%
Canadair CRJ	777 382	25 119	31	3,4%
Boeing B767	2 877 512	19 199	150	2,6%
Embraer 135/145	inf à 770 000	18 290	inf à 42	2,5%
Boeing B777	3 476 066	16 690	208	2,3%
ATR42	inf à 770 000	14 910	inf à 51	2,0%
Airbus A340	2 995 865	14 710	204	2,0%
Airbus A310	1 458 589	14 306	102	2,0%
Boeing B757	1 652 229	13 561	122	1,9%
Fokker 72	inf à 770 000	10 090	inf à 76	1,4%

Ce tableau récapitule en fait les 15 types d'avions qui ont le plus transporté de passagers en 2001. Pour trois d'entre eux, nous n'avons pas pu obtenir le nombre de passagers que leur trafic a permis de transporter. Cette absence de donnée est due au fait que ces avions ont emporté moins de 1% du trafic de 2001. Cela nous donne donc une limite supérieure.

L'étude de ce tableau montre en tout cas que ce sont de petits avions qui ont représenté la majorité des mouvements sur les aéroports parisiens. Les gros Boeing ne représentent que 4,1%, 2,6% et 2,3% des mouvements, tandis que l'A340 n'a représenté que 2% des mouvements. On imagine donc qu'il reste une certaine marge d'amélioration en ce domaine.

Mais avant de nous réjouir de cette perspective, cherchons à comparer ce résultat avec les autres grands aéroports mondiaux ou européens. C'est l'objet des données suivantes, qui conservent toujours l'année 2001 pour référence. Nous avons calculé le quotient du nombre de passagers et du nombre de vols commerciaux.

Ville / Aéroport	Emport moyen
Tokyo	209,1
Londres	113,7
Francfort	106,5
Amsterdam	94,9
Roissy	93,2
Atlanta	85,2
Rome	85,1
New York	74,7



L'aéroport de Roissy semble ainsi plutôt mal placé par rapport à ces voisins immédiats.

L'aéroport de Londres présente un emport moyen de 113,7 passagers par mouvement commercial, soit environ 22% de plus que la grande plate-forme parisienne.

L'aéroport de Francfort a une performance supérieure de 14%, celui d'Amsterdam de 2%.

Les performances varient fortement lorsque l'on change de continent : l'aéroport de Tokyo change visiblement d'ordre de grandeur, avec un emport moyen par vol proche du double des performances européennes, tandis qu'à l'inverse, les aéroports américains connaissent des emports moyens plutôt faibles (même si la ville de New York connaît possède trois aéroports aux emports moyens très disparates : très faible à La Guardia, et beaucoup plus conséquent à JFK par exemple).

Remarque : Ces résultats proviennent de la structure du transport aérien aux Etats-Unis : les grands hubs des aéroports américains sont des hubs moyen courrier (alors que ce sont plutôt des hubs long courrier que l'on rencontre en Europe). L'immense majorité des vols au départ et à l'arrivée des aéroports américains sont des vols domestiques. Cette spécificité répond à la fois à une tradition historique des Américains et à la structure du commerce des principales firmes américaines.

Serait-ce le signe d'une évidente variation de la qualité de la gestion des programmes de vols ? Ou pour être plus précis, ces résultats sont-ils liés à l'acuité des difficultés de congestion ressenties par les différents aéroports ? Ainsi, l'aéroport d'Atlanta (nous l'avons déjà évoqué dans les parties précédentes) pour une configuration tout à fait identique à celle de Roissy accueille 890 500 mouvements lorsque Roissy en accueille 515 000. Il est vrai que les autorités peuvent être moins incitées à intervenir sur la structure du parc d'appareils utilisant les infrastructures.

A l'inverse, les aéroports londoniens, par exemple, subissent lourdement la congestion, ce qui les incite à réfléchir aux possibilités d'intervention.

En fait, il semble plutôt que le constat précédent soit trop simpliste.

Les compagnies aériennes doivent également ajuster la taille des appareils qu'elles mettent en service sur la distance séparant l'origine et la destination du vol. Un appareil de grande taille (pour des vols plus long courrier) ne peut couvrir des liaisons courtes. Il faut donc apprécier également la répartition des distances couvertes par les vols pour les passagers des aéroports parisiens en 2001. Ce sont les données reproduites ci-dessous :

Distance de destination	Part de passagers
de 0 à 500 km	18,5%
de 501 à 1000 km	30,5%
de 1001 à 2000 km	17,1%
de 2001 à 3000 km	4,4%
de 3001 à 5000 km	4,4%
de 5001 à 10000 km	23,5%
Plus de 10001 km	1,5%

La moitié des passagers environ prennent l'avion pour une distante inférieure ou égale à 1000 kms. Les deux tiers voyagent sur des distances inférieures à 2000 kms. Le recours aux avions de grande taille n'est donc pas possible. Seules les transitions vers des avions de taille similaire mais présentant plus d'espace pour des sièges sont envisageables.

Par ailleurs, très peu de vols couvrent des distances comprises entre 2000 et 5000 kms. L'impact d'éventuels transferts sur des avions de taille supérieure est donc très limité.

Enfin, un quart des voyageurs volent sur plus de 5000 kms, c'est-à-dire sur des avions qui sont de toute façon des appareils long courrier.

Par ailleurs, l'exemple que l'on cite le plus souvent pour illustrer ce que pourrait être l'augmentation de la taille moyenne des appareils utilisés concerne les navettes d'Air France entre Roissy et les aéroports de Toulouse ou Nice par exemple (qui ont une fréquence d'un vol toutes les heures environ). Il est vrai que de nombreux vols sont programmés tout au long de la journée, et il n'est pas moins vrai qu'il serait possible d'augmenter la taille des avions et de réduire la fréquence des vols. Mais ce raisonnement est uniquement technique. Le transport aérien recouvre néanmoins un aspect supplémentaire qui est la dimension économique. En d'autres termes, la question se pose de l'attractivité que représente pour les passagers cette perspective.

Aujourd'hui, un peu plus de 50% des passagers sur ces vols de navette n'embarquent pas dans le vol pour lequel ils ont réservé. La situation la plus fréquente est celle d'hommes d'affaires ayant effectué un déplacement pour une ou plusieurs réunions qui prennent fin un peu plus tôt que prévu par exemple. Il est alors

bien plus intéressant et bien plus pratique pour eux de pouvoir prendre un avion dans l'heure qui suit plutôt que d'attendre jusqu'au début de soirée pour pouvoir rentrer. La situation actuelle permet à cette clientèle de disposer librement de son temps pour le reste de la journée. Le raisonnement est le même concernant les heures de départ.

Bien entendu, cette clientèle est plutôt captive pour les transporteurs aériens (en particulier pour Air France dans le contexte actuel) et il est probablement possible de lui imposer une réduction des fréquences, donc de l'offre qui lui est faite. Il s'agit ici d'une décision politique.

Osons cependant un rapide bilan des gains et pertes d'utilité : pour les compagnies aériennes, le bilan est probablement nul puisque le trafic total va rester inchangé tandis que les marges vont peu évoluer. Pour les passagers, et notamment pour la clientèle d'affaires, le bilan est fortement négatif. Il suffirait pour l'évaluer d'avoir recours à une rapide modélisation (à partir de la relation coût/temps pour cette clientèle). Les gains sont pour l'exploitant aéroportuaire (en terme de qualité de service) et pour les autres transporteurs aériens qui utilisent la plate-forme congestionnée en général. Ils verront en effet la congestion totale diminuer, et donc leur utilité augmenter. La modélisation que nous proposons dans la quatrième partie permettra de dresser quelques pistes pour évaluer le gain qui en résulte. Il risque toutefois d'être très faible car ces navettes ne représentent que quelques dizaines de vols (qu'on ne pourrait réduire à zéro de toute façon) par jour sur Roissy, à comparer à un peu moins de 1500 vols par jour. Le bilan total pour la collectivité risque donc d'être plutôt négatif à l'issue. Il serait toutefois pertinent d'étayer ou d'infirmer ce raisonnement par une analyse chiffrée.

Dernière remarque enfin : un certain nombre de vols ne répondent pas à une demande ou une attente commerciale, mais à d'autres impératifs. Le plus frappant est probablement l'obligation de service public, que le règlement 95/93 portant sur les créneaux aéroportuaires (que nous évoquons en annexe 1) autorise y compris aux heures de pointe. Ce phénomène est non négligeable : il représente par exemple entre 12% et 14% des créneaux à l'aéroport d'Orly.

L'obligation de service public s'applique bien entendu à des lignes qui n'auraient pas eu de sens économique sans l'intervention de l'Etat. Il paraît donc fort logique que le nombre de passagers sur ces vols soit extrêmement réduit, et qu'il serait bien inutile, contre-productif et polluant d'opérer des appareils de taille supérieure sur ces lignes.

Les possibilités d'augmentation de la taille des avions, et de par suite de l'emport moyen par vol sont donc extrêmement limitées. La différence constatée entre un aéroport comme Roissy et ses grands voisins européens est donc probablement plus liée à la structure de la demande, et du marché du transport aérien en France, plutôt qu'à une différence de gestion des infrastructures.

N'oublions pas, enfin, que Roissy est un aéroport bénéficiant de la stratégie de hub d'Air France, stratégie qui conduit à multiplier les vols de court et moyen courrier en direction de la plate-forme.

9. Optimisation des mouvements de fret

Les mouvements d'avions qui se présentent aux pistes proviennent de deux sources différentes : les vols commerciaux de passagers et les mouvements de fret (nous excluons ici tous les vols à caractère militaire). Bien entendu, les compagnies aériennes utilisent parfois l'espace disponible dans les soutes pour transporter du fret, mais la majorité du fret est transporté dans les avions cargos.

L'optimisation du trafic de fret semble donc un axe de réflexion prometteur.

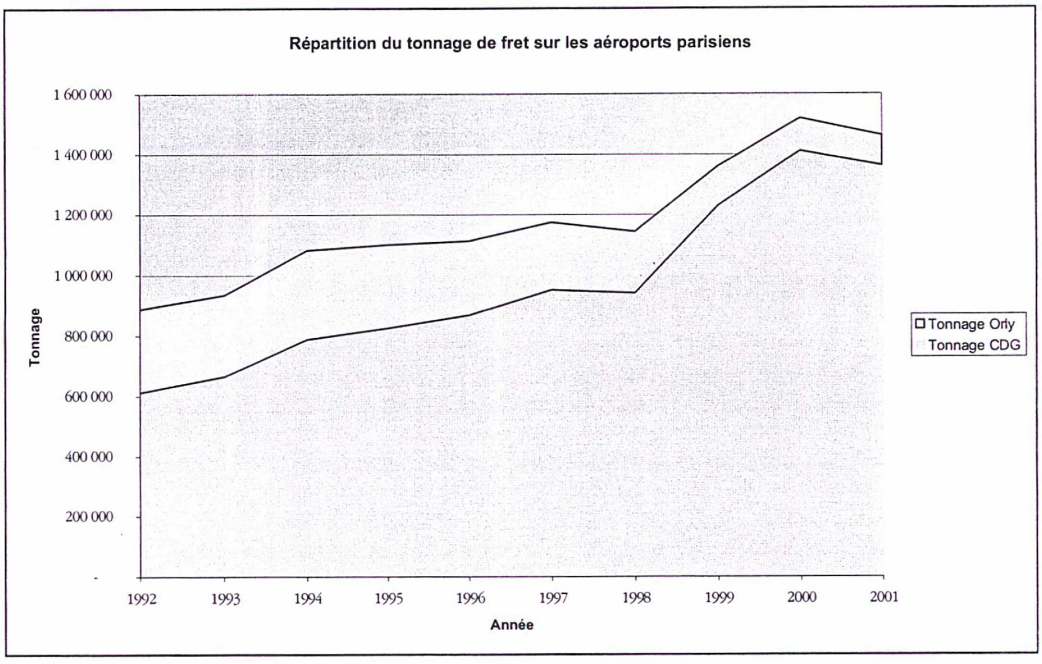
Précisons qu'à la différence du paragraphe de cette partie consacrée au délestage (passagers ou fret), nous ne chercherons pas ici à évoquer l'hypothèse d'une diminution du trafic de fret, mais une optimisation de l'utilisation des infrastructures par les appareils qui y sont dédiés.

Avant d'étudier la pertinence de ce levier d'action, apportons immédiatement une première restriction forte : à peu de choses près, les pistes sont les seules infrastructures que le fret et les mouvements commerciaux de passagers partagent.

Il nous faut donc être conscients que même une concentration du fret sur des heures totalement inutilisées par le trafic commercial ne permettra pas de résoudre les problèmes de congestion qui prennent naissance à de goulets d'étranglement différents de l'entrée des pistes.

Tentons toutefois d'évaluer l'amplitude des mouvements de fret.

En 2001, le tonnage de fret passé par les aéroports de Paris a représenté un peu moins de 1,5 millions de tonnes. La répartition est toutefois inégale, observons en détails la répartition du fret entre Roissy et Orly :



En 2000, plus précisément sur l'aéroport de Roissy, on a enregistré le pic du tonnage de fret. Le nombre de mouvements d'avions consacrés au fret avait alors été de 37 770.

L'amplitude de cette activité reste donc assez faible lorsqu'on la compare avec les 515 000 mouvements d'avions enregistrés en 2001 sur l'aéroport de Roissy.

Trois commentaires peuvent alors être tirés de ces chiffres :

- Tout d'abord, le potentiel d'amélioration de la situation semble plutôt limité. Les mouvements d'avions liés au trafic de fret sont, nous l'avons vu, plutôt réduits en comparaison avec les mouvements d'appareils pour passagers. Par ailleurs, l'optimisation éventuelle du trafic de fret est déjà 'naturellement' appliquée en grande partie puisque les deux principales sources de mouvements que sont le trafic de l'aéropostale (chronoposte) et des messagers internationaux (tels Fedex) ont lieu principalement la nuit. Ils ne peuvent donc en aucun cas concourir à la diminution du trafic aux heures particulièrement congestionnées en journée. C'est donc à la marge que des améliorations semblent possibles aujourd'hui.

- Il peut toutefois paraître prudent de modérer l'affirmation précédente par les évolutions possibles de la situation dans les prochaines années. Le graphique que nous avons reproduit ci-dessus montre une croissance sans équivoque (à la seule pause de l'année 2001 près) du besoin de trafic de fret sur les aéroports parisiens. Il a quasiment doublé de 1991 à 2001 ! Parallèlement à cette augmentation, un recentrage au profit de Roissy s'est dessiné, ce qui a encore accéléré la vigueur de cette croissance sur la principale plate-forme parisienne. De façon probablement plus nette que pour le transport des individus physiques, ce type de trafic est probablement appelé à connaître une poursuite de la croissance dans les prochaines années dans un contexte d'élargissement de l'Europe, de mondialisation et de libéralisation des échanges, etc. Il est donc possible que le constat que nous dressons aujourd'hui ne soit plus que partiellement vérifié dans une dizaine d'années, et encore moins dans une vingtaine d'années.
- Enfin, nous verrons dans la quatrième partie de ce document que nous proposons une forme d'explication des causes de la congestion qui conduit à mettre en avant un effet de levier sur les variations marginales de trafic. Dit autrement, une variation faible du trafic peut entraîner une forte variation de la situation de congestion lorsque l'aéroport est particulièrement saturé. Le trafic de fret ne représente aujourd'hui que 7,3% du nombre de mouvements d'appareils, et majoritairement hors des heures de saturation mais les facteurs d'augmentation évoqués ci-dessus combinés à cet effet de levier peuvent à terme dessiner une piste de réflexion.

C'est cette marge potentielle d'action qui a d'ailleurs conduit plusieurs études techniques et économiques à évoquer la possibilité de délester les aéroports saturés des fonctions de fret en les délocalisant sur des aéroports de province notamment. Nous rejoignons donc le paragraphe de cette partie consacré au traitement de ce point.

10. Une meilleure utilisation des infrastructures par des améliorations techniques

Toutes les perspectives que nous étudions dans cette partie s'appuient sur un même axiome, celui d'une situation à infrastructures constantes.

L'utilisation de ces infrastructures constantes est toutefois en perpétuelle amélioration. Deux sources sont à l'origine de cette amélioration : la meilleure structure de la demande (c'est l'objet des paragraphes de cette partie consacrés à l'augmentation de la taille moyenne des avions et à l'étalement des horaires), et l'évolution des techniques que les ingénieurs apportent au quotidien de l'exploitation.

C'est sur cette deuxième source que nous souhaitons nous concentrer dans ce paragraphe. Il sera bien entendu inutile et vain de vouloir lister toutes les solutions techniques mises en place récemment ou dans un futur proche. En revanche, il sera intéressant de dresser des pistes et perspectives.

Tout d'abord, une observation du décret paru au journal officiel du 7 novembre 2002 (que nous avons reproduit au paragraphe 2.3) montre que pour la saison aéronautique correspondant à l'été 2003, tous les acteurs estiment qu'il est possible de programmer jusqu'à 103 mouvements par heure (entre 9 heures du matin et midi) sur l'aéroport de Roissy en maintenant un niveau de sécurité correct. En pratique, le record obtenu en 2001 est, nous l'avons déjà signalé, de 121 mouvements (le 1er juin).

Nous obtenons donc une estimation de la situation actuelle de l'exploitation de la principale plate-forme parisienne.

Rappelons toutefois qu'un rapport de la Cour des Comptes, le rapport annuel 2002, critique violemment la perspective d'un troisième aéroport et met en évidence ce qui lui paraît être une sous-utilisation manifeste de Roissy. A partir de comparaison des capacités des pistes (et des pistes seulement), elle obtient un trafic potentiel de 80 à 100 millions de passagers annuels (contre moins de 50 millions aujourd'hui).

La différence tient-elle à un seul retard technique et technologique des exploitants de Roissy ?

Une première réponse est apportée dans le paragraphe de cette partie consacrée à l'extension des infrastructures qui met en évidence que les pistes ne sont pas aujourd'hui le principal goulet d'étranglement de Roissy.

Il n'empêche que des visites aux abords de Roissy aux heures de pointe du hub montrent qu'une file d'attente peut se produire à l'entrée des pistes.

Par ailleurs, une optimisation de l'utilisation des capacités permet de donner plus de marge et de flexibilité aux heures de pointe, tout en réduisant notablement la congestion opérationnelle, au sens que nous lui donnerons dans la dernière partie de ce document, consacrée à la modélisation de la congestion.

Comment déterminer un objectif cohérent ?

En pratique, l'aéroport qui dispose de la structure la plus proche de celle de l'aéroport de Roissy est l'aéroport d'Atlanta, avec deux doublets très similaires à ceux de Roissy. L'aéroport d'Atlanta réalise 190 mouvements par heure. Mais il dispose de trois avantages sur l'aéroport parisien :

- la météo y est plus favorable, et la visibilité plus lointaine
- les appareils qui s'y présentent sont plus homogènes en taille
- la structure des aérogares est plus efficace pour répondre aux attentes d'un hub, alors que les premières aérogares de Roissy avaient été construites pour poursuivre d'autres objectifs.

Par ailleurs, une compagnie (Delta Airlines) est largement dominante sur cette plate-forme, ce qui réduit le nombre d'interlocuteurs pour l'exploitant, et permet de mettre en place des procédures plus facilement.

L'enquête publique qui avait été réalisée lors de la construction des doublets de Roissy avait débouché sur un objectif d'utilisation de ces pistes à 120 mouvements par heure. C'est donc un objectif raisonnable pour ADP à l'échéance de 2007 – 2008. Il est toutefois probable, qu'à l'instar de la situation actuelle, la capacité ponctuelle des pistes puisse monter au-delà des programmations. Certaines pointes à 130 mouvements ou 140 mouvements par heure seront peut-être ponctuellement atteintes.

Quelles sont les pistes pour atteindre ces objectifs ?

Les facteurs déterminants pour optimiser l'utilisation des pistes sont de deux ordres :

- temps d'occupation des pistes

- capacité des contrôleurs à coller les avions sans réduire la sécurité

En ce qui concerne le premier facteur, beaucoup de dégagements à grande vitesse ont été construits ces dernières années, afin de réduire le temps d'occupation. D'autres outils essaient de concourir au même résultat. C'est le cas de systèmes de triangulation ou de repérage des avions au sol, afin que les pilotes se repèrent le plus rapidement possible (en particulier en cas de météo défavorable) afin d'occuper la piste pendant une durée toujours plus réduite.

En ce qui concerne le rapprochement des avions pendant les phases d'approche, deux grands types d'amélioration sont perpétuellement recherchés.

D'une part, indépendamment de la météo, chercher à améliorer l'homogénéité des avions qui se présentent. Si les avions qui se suivent se ressemblent, alors on peut augmenter le débit. Par ailleurs, plus la taille des avions est petite, plus on peut les rapprocher (les turbulences provoquées sont plus faibles). D'autres solutions dans le même esprit sont régulièrement envisagées (décaler les seuils d'atterrissage pour les petits avions, ce qui permet de libérer de la capacité pistes, etc...)

D'autre part, les capacités qui sont aujourd'hui programmées tiennent compte des capacités en cas de météo favorable, mais aussi des cas dans lesquels elle est défavorable. Même s'il ne s'agit pas d'une simple moyenne arithmétique, les exploitants tentent de prévenir les risques de retards monstres en tenant compte des cas de visibilité faible. Toutefois, autant les capacités par bonne visibilité sont toujours difficiles à améliorer, autant les débits pour les cas de faible visibilité disposent d'une réelle marge de progression. Beaucoup de travail est donc actuellement réalisé sur les LVP (Low Visibility Procedures) afin de guider les appareils dans leurs manœuvres, et augmenter les capacités d'écoulement. Des systèmes de guidage par balises, signal ILS ou MLS, par satellite notamment sont régulièrement imaginés et testés. Un exposé détaillé du fonctionnement technique de tous ces procédés est à la fois au-delà de notre champ de compétences et totalement inutile.

Ce que nous pouvons, au bilan, retenir de ce paragraphe et de notre entretien avec plusieurs acteurs de l'exploitation (tant au niveau de l'exploitant aéroportuaire que celui des compagnies aériennes ou des autorités de tutelle), est que malgré quelques handicaps par rapport à des aéroports similaires en structure, la plate-forme de Roissy est capable de se hisser au niveau des 120 mouvements par heure sans grande difficulté, et que les pistes de recherche que nous avons évoquées permettront sans doute d'aller au-delà dans les prochaines années. Cet espoir est renforcé par le fait qu'aujourd'hui, un seul des deux doublets de l'aéroport de Roissy est utilisé en tant que tel, ce qui laisse augurer de nouvelles perspectives.

Cette recherche d'augmentation de l'offre de l'aéroport sans contrepartie de structuration de la demande se heurte toutefois, à terme, à la même difficulté que l'extension des infrastructures que nous évoquons dans un autre paragraphe de cette partie. Il s'agit en fait de l'augmentation des nuisances générées auprès des riverains de la plate-forme. Cette problématique, éminemment politique, va fort probablement de nouveau se poser dans les années à venir, au fur et à mesure de l'augmentation des performances de Roissy. Il sera alors difficile d'échapper à certains débats douloureux.

IV. Modélisation de la congestion

1. Esprit de la démarche

L'objet de cette partie du document est d'une part d'essayer de mieux cerner les causes techniques et pratiques de la congestion, en fonction des types d'aéroports, puis d'autre part de confronter cette analyse avec les conséquences qu'elle entraîne sur l'effet des mesures évoquées à la partie précédente.

Lors de notre analyse de la congestion sur l'aéroport de Roissy CDG en 2001, nous avons développé une approche suivant deux aspects : une congestion en amont et une congestion en aval.

En ce qui concerne la phase aval, ou de façon plus générale ce qui concerne tous les aéroports qui ne sont pas totalement coordonnés, c'est-à-dire qui n'ont pas mis en place de mécanisme de créneaux, il paraît intéressant de chercher à comprendre, voire à prédire l'évolution des retards en fonction du trafic. En pratique, nous avons identifié deux mécanismes qui nous semblent à l'œuvre lors de phénomènes de congestion, et qui feront l'objet des deux paragraphes suivants. Cette démarche doit nous conduire à une modélisation qu'il conviendra absolument de valider par confrontation avec la réalité observée. Cette confrontation sera systématiquement réalisée à l'issue de chaque paragraphe.

En ce qui concerne la phase amont, il est inutile de chercher une modélisation précise pour comprendre le phénomène. Il dépend entièrement de la demande d'utilisation des infrastructures et de la décision arbitraire que prendra le régulateur lorsqu'il définira le nombre de créneaux à attribuer.

L'enjeu paraît donc plus économique que technique, puisque le rôle du régulateur sera de fixer ce nombre de créneaux à un niveau optimum (si un tel optimum peut être défini). Ce sera l'objet du quatrième paragraphe de cette partie. Nous ne pourrons toutefois pas nous affranchir de considérations plus techniques, puisque l'appréciation de l'optimum passera par une évaluation des conséquences de chaque hypothèse de travail. C'est notamment le troisième paragraphe de cette partie qui permettra d'éclaircir ce point.

A l'issue de ces efforts de modélisation et d'appréciation des conséquences économiques, nous pourrons porter un regard rétrospectif sur les enseignements que nous avions tirés des parties précédentes et sur l'esprit des réponses apportées à la congestion.

2. La congestion par file d'attente – Aéroport non complètement coordonné

Le premier mécanisme de congestion que nous souhaitons proposer s'applique à des aéroports qui ne disposent pas de mécanisme de limitation de la demande (créneaux aéroportuaires par exemple). En fait, il s'agit d'étudier une plate-forme avec un facteur limitant (la capacité des pistes, par exemple). Lors de sa mise en service, l'aéroport va connaître un trafic réduit, avec des heures de pointe et des heures creuses, sans qu'aucun phénomène de congestion n'apparaisse.

Puis, au fur et à mesure de l'augmentation du trafic, les pointes en heure pleine vont s'approcher de la capacité maximale de l'infrastructure, jusqu'à la dépasser.

Commençons donc par étudier le phénomène qui se produit alors pendant les heures de pointe.

Modélisation en période de saturation (avec heures de pointe)

Ce mécanisme relève d'un esprit proche des files d'attente dans les magasins, sur les routes, ou dans toute autre situation à débit limité et demande variable.

Des modèles de files d'attente ont été étudiés depuis longtemps par des économistes renommés, surtout à partir de modèles routiers. Nous avons toutefois construit une approche différente de ces démarches économiques pour une raison principale : les modèles économiques reposent sur l'arbitrage de chaque automobiliste lorsqu'il doit se présenter à une infrastructure entre le coût de l'attente, le coût d'être en retard ou d'être en avance.

Dans notre cas, nous considérons en fait que les appareils ne peuvent réaliser ces arbitrages. Prenons l'exemple des grands aéroports de Province (Nice ou Toulouse par exemple). Les vols au départ ou à destination de plates-formes telles que celles de Paris ont une durée de vol connue et fixe, et doivent décoller à une heure fixée par avance à cause du système de créneaux à Roissy ou Orly. Par ailleurs, la fluidité du trafic sur les plates-

formes parisiennes et l'impératif d'une programmation crédible pour les compagnies aériennes conduisent à programmer ces vols selon un étalement régulier. Nous obtenons donc la situation décrite ci-dessous.

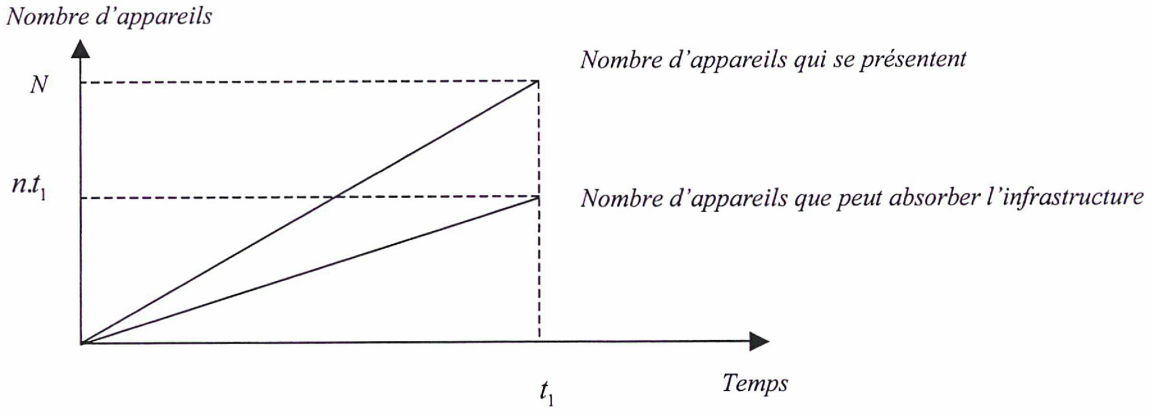
Supposons que la capacité de l'infrastructure par unité de temps soit n. Pendant une durée t, seuls $n.t$ appareils peuvent donc utiliser cette infrastructure.

Supposons que N appareils se présentent entre $t_0 = 0$ et t_1 pour décoller ou atterrir.

Supposons que $N \geq n.t_1$: alors il y a congestion à partir de t_0.

Nous appellerons V(N) le retard moyen que subiront ces appareils.

Supposons que plus aucun appareil ne se présente après t_1 de façon à ce que l'infrastructure puisse absorber puis résorber la file d'attente qui s'est formée.[1] Le graphique ci-dessous représente la situation de congestion précédemment décrite.



[1] Un modèle avec heures creuses (c'est-à-dire supposant qu'il y a des arrivées et-ou départs d'appareils hors des heures de pointe) est proposé plus loin dans la partie I.2.

Chaque appareil se présentant devra attendre avant de pouvoir être traité. Voici un tableau récapitulant les heures de présentation des appareils et les heures de traitement correspondantes.

Ordre de présentation à l'infrastructure	**Heure de présentation à l'infrastructure**	**Heure d'utilisation de l'infrastructure -traitement-**
1	$\frac{t_1}{N}$	$\frac{1}{n}$
2	$2\cdot\frac{t_1}{N}$	$\frac{2}{n}$
3	$3\cdot\frac{t_1}{N}$	$\frac{3}{n}$
...	...	...
$\frac{N}{t_1}\cdot t$	t	$\frac{t}{t_1}\cdot\frac{N}{n}$
...	...	...
N-1	$(N-1)\cdot\frac{t_1}{N}$	$\frac{N-1}{n}$
N	t_1	$\frac{N}{n}$

Intéressons nous à l'appareil qui se présente à *t*. Il est le $\frac{N}{t_1}\cdot t$ ème dans l'ordre de présentation et passe à une date $t' = \frac{t}{t_1}\cdot\frac{N}{n}$. Son retard est donc égal à :

$$\Delta t = t' - t = t\cdot\left(\frac{N}{n\cdot t_1} - 1\right)$$

Le retard total est donc pour les N appareils, en généralisant à un modèle d'arrivée continu et non discret :

$$R = \int_0^N t\cdot\left(\frac{N}{n\cdot t_1} - 1\right)\cdot dN'$$

On procède à un changement de variable en posant $N' = \frac{N}{t_1}\cdot t$

$$R = \int_0^{t_1} t\cdot\left(\frac{N}{n\cdot t_1} - 1\right)\cdot\frac{N}{t_1}\cdot dt$$

D'où :

$$R = \frac{N}{2}\cdot\left(\frac{N}{n} - t_1\right)$$

Le retard moyen par appareil est alors :

$$\boxed{V(N) = \frac{1}{2}\cdot\left(\frac{N}{n} - t_1\right)}$$

La congestion dure ici de $t = 0$ à $t = \frac{N}{n} \geq t_1$.

Modélisation avec heures creuses

La modélisation précédente supposait qu'entre $t = 0$ et t_1, N appareils se présentent et qu'au delà de t_1, plus aucun appareil ne se présente.

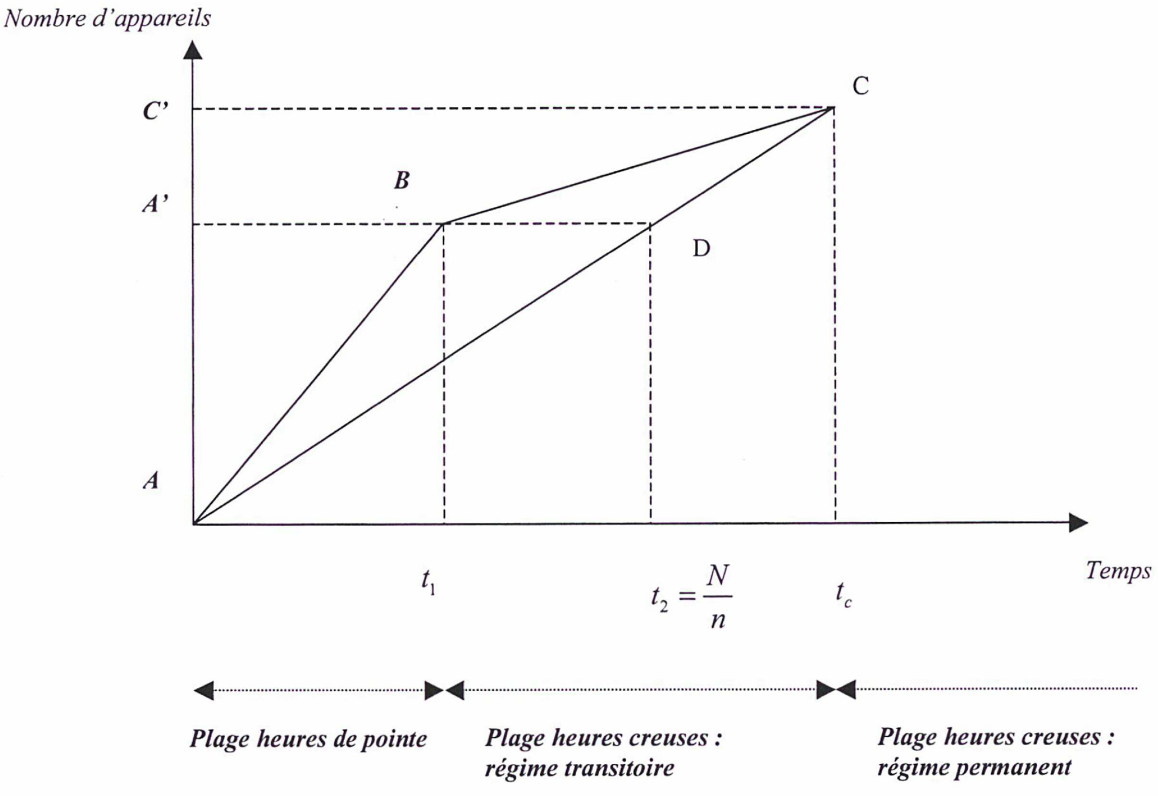
Ici, on supposera qu'entre $t = 0$ et t_1, N appareils se présentent et qu'après cette plage d'heures de pointe, le rythme d'arrivées est réduit d'un taux β c'est-à-dire que $\frac{\beta \cdot N}{t_1}$ appareils se présentent régulièrement par unité de temps.

Deux hypothèses sont faites :

- $\beta \leq 1$: ce qui signifie qu'au delà de t_1, le rythme de présentation des appareils est plus faible que pendant la plage d'heures de pointe. Il y a ralentissement du trafic.
- $\beta \cdot N \leq n \cdot t_1$: ce qui signifie que le rythme de présentation des appareils à partir de t_1 est plus faible que la capacité de l'infrastructure à traiter ces appareils : on entre dans une plage d'heures creuses. En régime permanent, dans cette plage, le retard moyen par appareil est nul.

La situation que l'on considère est donc une plage d'heures de pointe d'une durée t_1 suivie d'une plage d'heures creuses à partir de t_1.

Voici une représentation graphique simple de cette séquence d'une plage d'heures de pointe suivie d'une plage d'heures creuses :



Examinons les différentes sources de retard :

- Les N appareils des heures de pointe subissent, chacun, un retard de :

$$V(N)=\frac{1}{2}\cdot\left(\frac{N}{n}-t_1\right)$$

Le dernier appareil d'heures de pointe subissant ce retard moyen utilise l'infrastructure à la date $t_2=\frac{N}{n}$

- Les appareils se présentant à partir de t_1 subissent également un retard et s'insèrent dans la file d'attente. Le retard subi pendant les heures de pointe se propage sur les avions se présentant hors heures de pointe pendant la durée d'un régime que nous avons appelé transitoire. Ce retard se propage jusque t_c. L'appareil se présentant à t_c n'aura plus de retard. Le nombre d'appareils qui se présentent en heures creuses et qui sont retardés est donc $y_c - N$ où y_c est l'ordonnée du point C.

Le tableau ci-dessous récapitule les heures de présentation de ces appareils en heures creuses et les heures de traitement correspondantes.

Ordre de présentation à l'infrastructure	**Heure de présentation à l'infrastructure**	**Heure d'utilisation de l'infrastructure -traitement-**
1	$t_1+\frac{t_1}{\beta\cdot N}$	$t_2+\frac{1}{n}$
2	$t_1+2\cdot\frac{t_1}{\beta\cdot N}$	$t_2+\frac{2}{n}$
...	...	...
$y_c-N=\frac{t_c-t_1}{t_1}\cdot\beta\cdot N$	$t_1+\left[\frac{t_c-t_1}{t_1}\cdot\beta\cdot N\right]\cdot\frac{t_1}{\beta\cdot N}$	$t_2+\left[\frac{t_c-t_1}{t_1}\cdot\beta\cdot N\right]\cdot\frac{1}{n}$

Le $y_c - N$ ème appareil n'a pas de retard : l'heure de présentation à l'infrastructure est égale à l'heure d'utilisation de l'infrastructure.

Comme nous l'avons vu ci-dessus, le retard se décompose en deux contributions : elles sont représentées graphiquement par les aires des triangles ABD et BCD.

L'aire du triangle ABD est :

$$Aire(ABD)=\frac{BD*AA'}{2}=\frac{N}{2}\cdot\left(\frac{N}{n}-t_1\right)$$

L'aire du triangle BCD est :

$$Aire(BCD)=\frac{BD*C'A'}{2}$$

Calcul des coordonnées du point C :

Le point C est défini comme l'intersection de la droite $y = n \cdot x$ et de la droite passant par B et de pente $\frac{\beta \cdot N}{t_1}$. L'équation de la dernière droite est : $y = \frac{\beta \cdot N}{t_1} \cdot x + (1-\beta) \cdot N$

Les coordonnées de C sont donc :

$$x_c = \frac{(1-\beta) \cdot N}{n - \frac{\beta \cdot N}{t_1}}$$

$$y_c = \frac{n \cdot (1-\beta) \cdot N}{n - \frac{\beta \cdot N}{t_1}}$$

L'aire du triangle BCD devient alors :

$$Aire(BCD) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{N}{n} - t_1 \right) \cdot N \cdot \left[\frac{n \cdot (1-\beta) \cdot N}{n - \frac{\beta \cdot N}{t_1}} - 1 \right]$$

Après simplification ; on obtient :

$$\boxed{Aire(BCD) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{N}{n} - t_1 \right) \cdot N \cdot \beta \cdot \left(\frac{N - n \cdot t_1}{n \cdot t_1 - \beta \cdot N} \right)}$$

Le retard total est égal à la somme des deux aires :

$$R = Aire(ABD) + Aire(BCD) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{N}{n} - t_1 \right) \left[N + N \cdot \beta \cdot \left(\frac{N - n \cdot t_1}{n \cdot t_1 - \beta \cdot N} \right) \right]$$

Soit :

$$\boxed{R = \frac{N}{2} \cdot \left(\frac{N}{n} - t_1 \right) \cdot \left(\frac{(1-\beta) \cdot n \cdot t_1}{n \cdot t_1 - \beta \cdot N} \right)}$$

Le retard moyen par appareil est égal au rapport du retard total sur le nombre d'avions retardés. Ici le nombre d'avions retardés est égal à y_c. On a donc :

$$V(N) = \frac{R}{y_c} = \frac{R}{\frac{n \cdot (1-\beta) \cdot N}{n - \frac{\beta \cdot N}{t_1}}}$$

On trouve que le retard moyen est sans surprise égal à :

$$\boxed{V(N) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{N}{n} - t_1 \right)}$$

Le retard total évolue donc comme

$$R = R_0 \cdot N \cdot \frac{N - N_0}{\alpha - N}$$

- La constante N_0 vérifie $R(N_0) = 0$. Elle correspond à un trafic minimum. Pour $N \leq N_0$, le retard est nul, ce qui signifie que le nombre d'appareils se présentant pendant la journée est calibré sur la capacité horaire n de l'aéroport et peut être absorbé intégralement par l'infrastructure.

- La constante α vérifie, par hypothèse sur β, $N \leq \alpha \leq n \cdot t_1$. Elle correspond à un trafic seuil. Lorsque N tend vers α, le retard augmente fortement (divergence). Cela traduit le fait que le nombre d'appareils se présentant pendant les plages d'heures creuses devient très élevé : le retard induit par les appareils des heures de pointe se propage de plus en plus longtemps pendant les plages d'heures creuses. Quand $N \approx \alpha$, on ne peut plus atteindre de régime permanent pendant les plages d'heures creuses: le retard dû aux plages d'heures de pointe n'est jamais résorbé.

Cas d'une journée complète

Jusqu'ici, le raisonnement portait sur une séquence de journée composée d'une plage d'heures de pointe et d'une plage d'heures creuses. Considérons désormais une journée, pendant laquelle se succèdent plusieurs motifs « heures de pointe / heures creuses » avec un même taux β de réduction du trafic.

- Le nombre d'appareils se présentant pendant la journée évolue comme N.
- Le retard total varie comme $R = R_0 \cdot N \cdot \frac{N - N_0}{\alpha - N}$ puisque les retards se forment à chaque séquence heures de pointe / heures creuses de façon indépendante.
- Le retard moyen évolue donc comme $\frac{R}{N}$, soit :

$$\boxed{V(N) = V \cdot \frac{N - N_0}{\alpha - N}}$$

Les constantes N_0 et α s'interprètent comme précédemment.

Calcul des coûts de la congestion

Soit N le nombre total d'appareils qui se présentent dans une journée sur l'infrastructure pour y atterrir ou y décoller et soit $V(N)$ le retard moyen que subit chacun de ces appareils.

Soit C le coût horaire du retard.

D'après les résultats de ce paragraphe, le coût de congestion s'écrit alors

$$\boxed{C_{total} = C \cdot N \cdot V(N)}$$

Et le coût marginal, c'est-à-dire le coût qu'engendre un appareil supplémentaire lorsqu'il y avait déjà N appareils qui se présentaient dans la journée s'écrit :

$$\boxed{C_{marginal} = \frac{dC_{total}}{dN} = C \cdot V(N) + C \cdot N \cdot \frac{dV(N)}{dN}}$$

On retrouve ici deux composantes :

- tout d'abord le coût de congestion pour l'appareil lui-même (il va subir le retard moyen puisqu'il s'est inséré dans la file d'attente)
- puis le coût de congestion pour les N autres appareils qui utilisaient déjà l'infrastructure et qui vont voir leur temps moyen d'attente V(N) augmenter

Ce coût marginal est appelé coût marginal social. On peut utiliser le modèle précédent pour en déduire une variation du coût d'un appareil supplémentaire en fonction du trafic.

Coût marginal social

On peut donc déduire de :

$$C_{marginal} = \frac{dC_{total}}{dN} = C.V(N) + C.N.\frac{dV(N)}{dN}$$

Avec $V(N) = V \cdot \frac{N - N_0}{\alpha - N}$ et $\frac{dV(N)}{dN} = V \cdot \frac{\alpha - N_0}{(\alpha - N)^2}$, que :

$$C_{marginal} = C \cdot V \cdot \frac{N - N_0}{\alpha - N} + C.N \cdot V \cdot \frac{\alpha - N_0}{(\alpha - N)^2}$$

Après simplification, on obtient :

$$\boxed{C_{marginal} = \frac{C \cdot V}{(\alpha - N)^2} \cdot (2 \cdot \alpha \cdot N - \alpha \cdot N_0 - N^2)}$$

Le coût total social est, quant à lui, égal à :

$$C_{total} = C \cdot N \cdot V(N) = C \cdot V \cdot N \cdot \frac{N - N_0}{\alpha - N}$$

Coût marginal privé

Dans le coût social total que nous avons calculé plus haut, l'appareil supplémentaire n'en supporte qu'une partie. Cette partie est en fait égale à :

$$C \cdot V(N) = C \cdot V \cdot \frac{N - N_0}{\alpha - N}$$

Confrontation avec les observations

Nous avons choisi de nous concentrer sur un modèle qui s'appliquait a priori aux aéroports non totalement coordonnés. Nous avons donc choisi de mener la comparaison avec l'aéroport de Nice pour lequel nous disposions de données de retard récentes (année 2002).

Nous avons donc collecté les données mensuelles de trafic et de retard dû aux infrastructures (source : Comité des Usagers du Transport Aérien) pour l'année 2002. Nous obtenons ainsi 12 points expérimentaux.

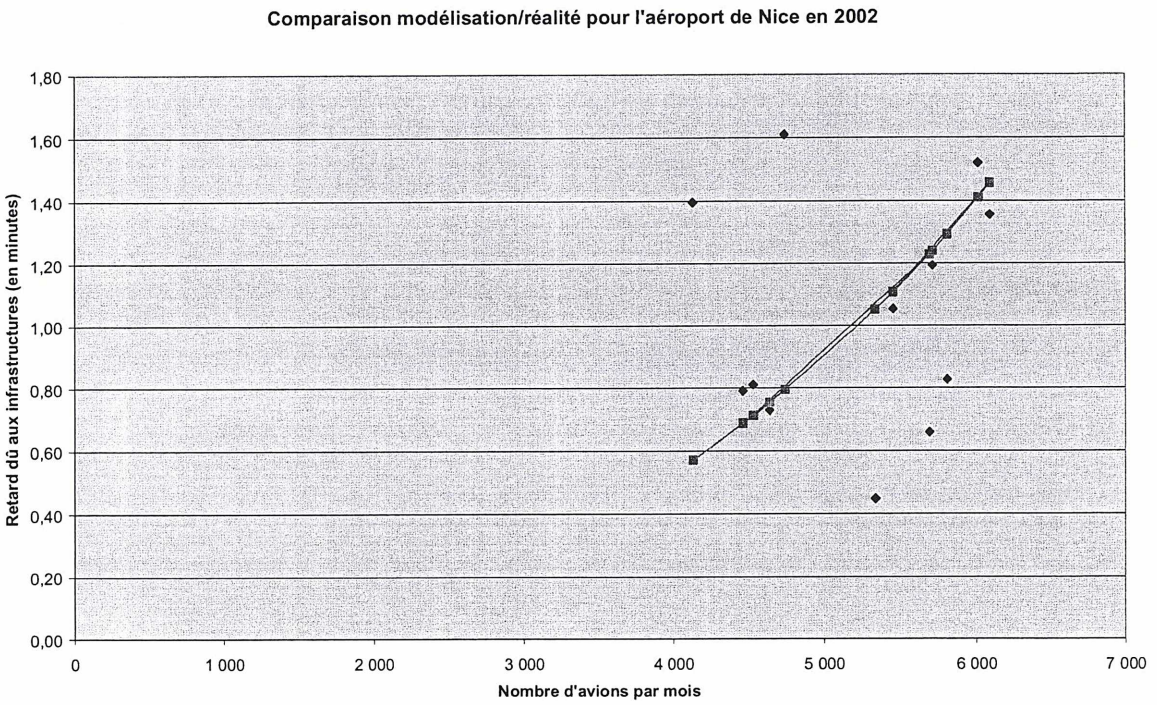
Puis nous avons cherché à trouver rapidement quelques coefficients requis par notre modèle afin de comparer les évolutions et la réalité.

Pour des raisons de confidentialité, nous pouvons diffuser les graphiques mais pas les valeurs numériques correspondantes.

Notons que l'année 2002 a été marquée par quelques événements particuliers au sujet des règles de sécurité, ce qui conduit à quelques points aberrants sur les graphiques, comme il sera facile de s'en rendre compte.

L'aéroport de Nice est soumis aux vagues de départs et d'arrivées le matin et le soir. Il pourrait donc paraître logique, au regard de notre approche, de sélectionner ce premier modèle de congestion pour s'approcher de la réalité des observations.

Le résultat est présenté ci-dessous. Même si, encore une fois, la détermination des paramètres mériterait de passer un peu plus de temps, nous obtenons un coefficient de corrélation (hors points visiblement aberrants) de 97%.



3. Congestion dans la phase opérationnelle

Il est apparu dans le paragraphe précédent qu'une file d'attente pouvait se produire lorsque le nombre d'avions qui se présentent (à l'heure de pointe) était supérieur aux capacités de l'infrastructure. Il est apparu également que le retard peut tendre vers l'infini si, fort logiquement, le nombre d'avions qui se présentent aux heures creuses est lui aussi égal ou supérieur à la capacité de l'infrastructure.

Il pourrait donc être naturel d'imaginer qu'il suffit, au travers d'un mécanisme de créneaux par exemple, de s'assurer que le nombre d'avions qui se présentent pendant les heures de pointe et les heures creuses est inférieur aux capacités de l'infrastructure. Théoriquement, la congestion devrait alors disparaître.

Toutefois, ce n'est pas ce que les acteurs du transport aérien constatent au quotidien. Il y a donc une seconde source de retards lors de la phase opérationnelle. Quelle en est la cause ? Quelle en est l'évolution avec le nombre d'appareils utilisant l'infrastructure ? Ces retards sont-ils liés à un phénomène de congestion ? Dans ce paragraphe, nous allons tenter de formuler quelques hypothèses à ces sujets.

Ce deuxième mécanisme de congestion que nous proposons peut s'appliquer, en fait, indifféremment à tous types d'aéroports, coordonnés ou non. Il ne s'appuie que sur les aléas opérationnels qui surgissent pendant l'exploitation. Il vient donc en complément du premier type de congestion pour les aéroports non coordonnés, et il nous apparaît comme un mécanisme principal pour les aéroports totalement coordonnés.

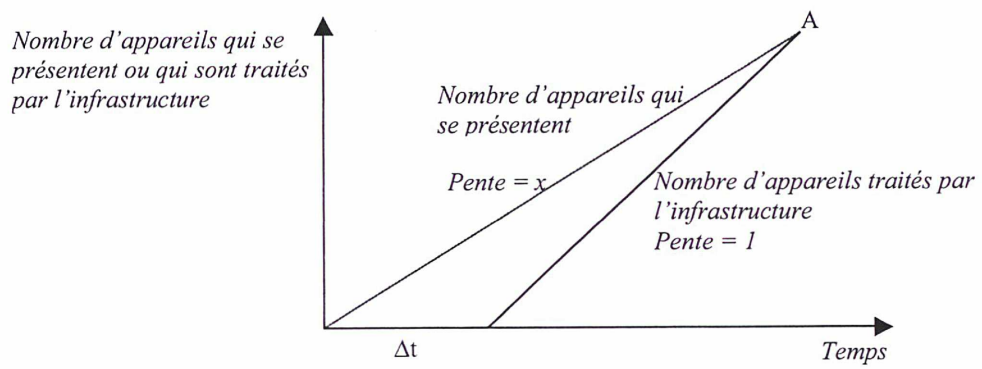
Plaçons-nous donc dans une nouvelle situation qui est celle d'une plage horaire d'utilisation de l'infrastructure. Nous supposerons, pour simplifier les calculs sans altérer le raisonnement, que cette plage dure infiniment (il n'y a donc ni heure pleine, ni heure creuse, mais seulement des heures moyennes).

Nous adoptons les notations suivantes :

- nous appellerons x le taux d'utilisation de l'infrastructure. Nous avons en effet supposé que le nombre d'avions qui se présentent est désormais inférieur aux capacités de l'infrastructure afin de ne voir apparaître que les retards de type opérationnel. La valeur de x peut alors se calculer selon l'exemple suivant : si la capacité de l'infrastructure est de 100 appareils par heure, et qu'on a programmé 70 appareils par heure, alors x vaut 0,70 ; tandis que si on a programmé 40 appareils, x vaut 0,4. Il est dès lors évident que x est proportionnel au nombre N d'appareils programmés. Cette notation permet donc d'adimensionner les variables du trafic, et d'alléger les notations comme nous le verrons dans les calculs
- nous supposerons qu'au cours de la phase opérationnelle de l'infrastructure, cette dernière peut être inutilisable pendant une durée Δt non prévue à cause d'un problème d'exploitation. Des exemples peuvent être :
  - un problème survenu sur l'infrastructure qui en bloque l'accès pendant une courte durée
  - le fait qu'une compagnie était supposée partir à un créneau donné mais qu'au dernier moment elle est retardée, que l'infrastructure n'est pas utilisée pendant la durée correspondante (capacité gâchée) mais que la compagnie viendra à nouveau s'insérer dans le trafic ultérieurement…
- formellement, Δt est une variable aléatoire, et nous appellerons $p(\Delta t)$ sa loi de répartition de probabilité. Cette quantité s'interprète donc de la façon suivante : au cours de la plage d'exploitation, il y a une probabilité p(3 minutes) que l'infrastructure soit inutilisable ou inutilisée pendant 3 minutes

Conséquence d'une perturbation

Sous ces hypothèses, observons donc sur un graphique l'effet qu'aura une immobilisation de l'infrastructure pendant une durée Δt.



Les appareils souhaitant utiliser l'infrastructure se présentent donc à un rythme de x dès les premiers instants. L'infrastructure, quant à elle, a une capacité de 1 mais ne peut commencer à traiter les appareils qu'à l'issue de la durée Δt.

Il se produit donc un retard que l'on peut calculer en prenant l'aire du triangle inscrit entre les deux droites.

On trouve facilement que les coordonnées de A sont $(\frac{\Delta t}{1-x}, \frac{x \cdot \Delta t}{1-x})$. L'aire du triangle est donc de :

$$R = \frac{1}{2} \cdot \frac{x \cdot \Delta t}{1-x} \cdot \Delta t$$

$$R = \frac{1}{2} \cdot \frac{x \cdot \Delta t^2}{1-x}$$

Le nombre de vols concernés par le retard est donc de $\frac{x \cdot \Delta t}{1-x}$. Le retard moyen est, sans surprise, de Δt/2.

Conséquences de l'ensemble des perturbations possibles

Il ne nous reste plus qu'à combiner l'effet de chacune des perturbations de durée Δt par la loi de répartition de leur probabilité. On obtient donc que le retard total sur la plage horaire est de :

$$R = \int_0^{+\infty} p(\Delta t) \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{x \cdot \Delta t^2}{1-x} \cdot d(\Delta t)$$

$$\boxed{R = \frac{x}{1-x} \cdot \int_0^{+\infty} \frac{1}{2} \cdot p(\Delta t) \cdot \Delta t^2 \cdot d(\Delta t)}$$

Il apparaît donc au premier abord que, quelle que soit la loi de répartition des probabilités de retard opérationnel, la conséquence en sera proportionnelle à la quantité $\frac{x}{1-x}$. Le retard moyen va donc évoluer comme :

$$\frac{R}{x} = \frac{1}{1-x} \cdot \int_0^{+\infty} \frac{1}{2} \cdot p(\Delta t) \cdot \Delta t^2 \cdot d(\Delta t)$$

Rappelons que x est proportionnel à N, nombre d'appareils utilisant l'infrastructure. Le retard moyen évolue donc comme $\frac{1}{1-x}$.

Remarque et hypothèse

Il existe toutefois une restriction à la conclusion précédente. Il est en effet probable que la probabilité qu'un incident qui provoque une inutilisation des infrastructures pendant une durée Δt augmente avec le trafic. La valeur de l'intégrale qui apparaît donc dans l'expression du retard total et du retard moyen risque donc d'évoluer selon la valeur de x.

On peut toutefois avancer l'hypothèse suivante : la loi de probabilité évolue proportionnellement avec x. Cette hypothèse signifie, par exemple, que lorsque le trafic double, la probabilité de chaque incident double. Cette hypothèse (comme bien d'autres possibles) peut-être vérifiée en étudiant les statistiques d'incident sur les infrastructures, ou en étudiant les statistiques de retard des appareils et en les comparant avec le modèle ci-dessus.

L'intégrale des formules du retard total et du retard moyen évolue alors avec x, ce qui donne **un retard moyen par appareil proportionnel à** $\frac{x}{1-x}$.

Conséquences

La conséquence principale de cette hypothèse de modélisation est une esquisse de prévision de l'effet de levier des variations de trafic ou de capacité des infrastructures. Nous supposons en effet que le retard moyen par appareil s'écrit sous la forme :

$$r_m = \frac{\alpha \cdot x}{1-x}$$

Où α est une constante qui dépend de la valeur de l'intégrale étudiée au paragraphe précédent. On peut alors constater que :

$$\ln(r_m) = \ln(\alpha) + \ln(x) - \ln(1-x)$$

En prenant la différentielle de cette équation (sans oublier que α est une constante) :

$$\frac{dr_m}{r_m} = \frac{dx}{x} + \frac{dx}{1-x}$$

$$\boxed{\frac{dr_m}{r_m} \Big/ \frac{dx}{x} = 1 + \frac{x}{1-x} = \frac{1}{1-x}}$$

Ce résultat est très important. Prenons un résultat numérique : imaginons que x ait pour valeur 0,75 (ce qui signifie par exemple que le nombre de créneaux attribué est égal à 75% des capacités de l'infrastructure). Alors :

- le retard opérationnel sera non nul, puisqu'il sera égal à $r_m = \frac{\alpha \cdot 0,75}{1-0,75} = 3 \cdot \alpha$

- si on augmente les capacités de 10% (donc si $\frac{dx}{x} = -10\% = -0,1$), alors le retard diminuera de $\frac{dr_m}{r_m} = \frac{1}{1-x} \cdot \frac{dx}{x} = \frac{1}{1-0,75} \cdot \frac{dx}{x} = 4 \cdot \frac{dx}{x} = -0,4 = -40\%$. On a donc un effet de levier égal à 4

- à l'inverse, l'effet de levier peut devenir effet de massue. A savoir : si le trafic augmente de 10%, le rapport $\frac{dx}{x}$ va augmenter de 10% cette fois-ci, et le retard moyen augmente de 40%.

Au bilan, cette formule permet donc d'avoir des résultats plutôt intéressants. Les enjeux qui s'y rapportent sont désormais de vérifier d'une part la proportionnalité entre le trafic et les lois de probabilités des incidents, et d'autre part de déterminer la valeur de x pour chaque infrastructure. Cela qui revient à déterminer les capacités réelles des infrastructures, ce qui n'est pas toujours tâche aisée.

Lien avec la congestion

Ce phénomène est-il lié à la congestion ? La réponse simple pourrait être négative puisqu'il y aura des retards, même lorsque les infrastructures sont largement surdimensionnées par rapport au trafic.

Mais en fait, si les infrastructures étaient à capacité infinie, alors la valeur de x serait égale à 0, et le retard moyen redeviendrait nul. Les difficultés opérationnelles sont donc liées à la limitation des infrastructures.

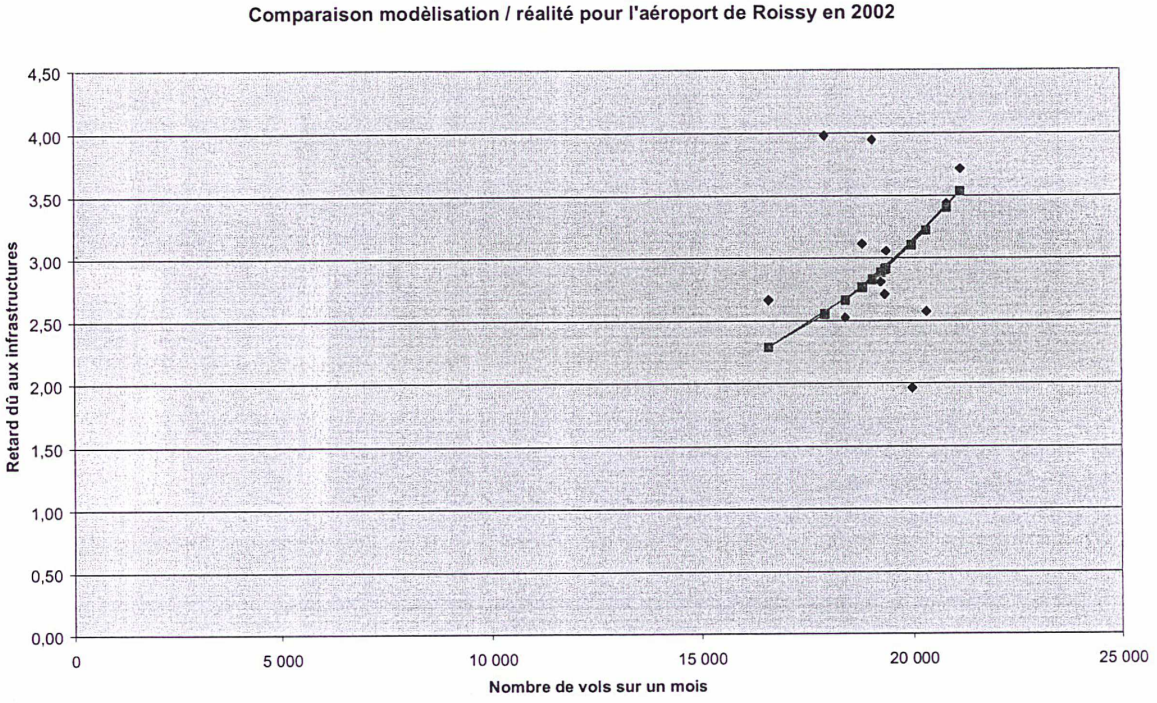
Confrontation avec la réalité

C'est un aéroport complètement coordonné. Il est donc soumis au mécanisme des créneaux, et, selon notre approche, ne devrait être soumis qu'à la seconde forme de congestion (aléas opérationnels), ce qui nous conduit à privilégier une courbe qui évolue comme $\frac{x}{1-x}$.

Rappelons que la variable x est proportionnelle au nombre d'appareils utilisant les infrastructures.

Le résultat de cette approche est donné ci-dessous, avec les points bleus correspondants aux observations faites et la courbe rose à notre courbe de modélisation.

Si nous ôtons les quelques points visiblement aberrants, nous obtenons un coefficient de corrélation supérieur à 89%.



4. Bilan

Au bilan, nous avons réussi à décrire deux types de sources de retard (et donc de congestion) qui apparaissent sur une plate-forme aéroportuaire dont les capacités ne sont pas infinies, et ce en l'absence de régulation. La première forme de congestion se déduit d'un modèle de file d'attente, et correspond à l'augmentation croissante du trafic sans extension des capacités lors de l'existence d'une infrastructure. Ce modèle met en évidence un trafic minimum (que nous avons appelé N_0) au-dessous duquel aucun retard ne naît, et un trafic seuil α pour lequel le retard devient infini.

La deuxième forme de congestion est liée à la propagation des retards opérationnels pendant la durée des plages d'exploitation.

Il pourrait paraître naturel et tentant d'unifier ces deux idées en une seule formule pour les aéroports non totalement coordonnés. Cela est tout à fait possible en reprenant le raisonnement du deuxième paragraphe et en y substituant les résultats du troisième paragraphe. Il s'agit en fait de substituer la capacité dégradée par les

perturbations opérationnelles à la capacité horaire fixe n utilisée dans le deuxième paragraphe. Les formules seront plus compliquées mais les deux processus étant indépendants, les phénomènes et grandeurs caractéristiques mis en évidence seront inchangés. Nous ne nous livrerons donc pas à cet exercice dans ce document.

5. Vers un niveau de congestion optimal ?

Intéressons-nous maintenant aux conséquences économiques de ces raisonnements.

Indépendamment des sources de la congestion, chaque agent économique en subit les conséquences.

Ainsi que nous l'avons évoqué au deuxième paragraphe de cette partie, en l'absence de régulation, chaque appareil qui se présente sur une infrastructure congestionnée va certes subir la congestion moyenne déjà présente, mais il va aussi générer un surplus de congestion pour les autres appareils déjà présents. C'est cette deuxième partie qui n'est pas ressentie par le dernier appareil arrivé (sauf s'il est de la même compagnie que les autres appareils qui subissent la congestion…).

L'objectif de la régulation va donc être de limiter le trafic au niveau qui permettra d'obtenir un optimum collectif.

Classiquement, la théorie économique se propose de raisonner en trois temps :

- identifier la fonction d'utilité (ou de profit) de chaque agent, puis la maximiser et en déduire un premier jeu de relations
- la variation de cet optimum de l'utilité de l'agent avec les différents facteurs incitatifs que le régulateur a à sa disposition donne alors une fonction de réaction de l'agent aux incitations qu'il reçoit de la part du régulateur
- le régulateur prend alors en compte ces différentes fonctions de réaction, et en déduit l'optimum collectif qu'il peut atteindre à partir de ces fonctions de profit individuelles maximisées

Notre démarche est similaire, même si elle suit un ordre de présentation différent. Nous allons en effet commencer par la présentation de l'utilité de chacun des agents, en déduire la fonction d'utilité collective et la maximiser immédiatement. Elle permet donc au régulateur de savoir vers quel équilibre il doit tendre.

Il lui reviendra alors d'utiliser les outils incitatifs qu'il a à sa disposition pour s'assurer que la maximisation de la fonction de profit de chacun des agents correspondra à la situation optimale collectivement.

Considérons donc les hypothèses suivantes :

- une journée se décompose en deux types de périodes (heures de pointe que nous repérerons par un indice p, et heures creuses que nous repérerons par un indice c). Nous nous affranchirons des effets de frontière en supposant que les passagers visent une plage d'heure pleine ou une plage d'heure creuse en tant que telle, et que ces deux plages sont bien séparées.
- nous considérerons que les passagers peuvent être répartis en trois groupes : ceux qui ne voyagent pas, ceux qui voyagent en heure creuse, ceux qui voyagent en heure pleine. Nous appellerons n_i les nombres de passagers dans chacun des trois groupes.
- nous considérerons que les compagnies peuvent dimensionner la taille de leur flotte en fonction du nombre de passagers pour chaque cas de figure. Dit autrement, les nombres d'avions utilisés en heure de pointe et en heure pleine seront proportionnels aux n_i des passagers. Cette hypothèse revient à dire que tous les avions sont de même dimension et que le taux d'emport est le même pour tous, ou bien encore (ce qui est une approximation), que les compagnies sont capables de préparer des fractions d'avions lorsqu'un passager nouveau se présente. Tous les coûts des compagnies sont considérés comme proportionnels au nombre d'avions, que nous supposons lui-même proportionnel au nombre de passagers.

Sous ces hypothèses, l'utilité des compagnies par passager s'écrit :

$$U_p = U_p^c + p_p - r_p - f_p(V(n_p))$$

$$U_c = U_c^c + p_c - r_c - f_c(V(n_c))$$

respectivement pour l'heure de pointe puis pour l'heure creuse, et où :

- U_p^c et U_c^c sont les utilités des vols en heure de pointe et en heure creuse (en terme d'image marketing, de stratégie…),
- p_p et p_c sont les prix des billets versés par les passagers sur les vols (souvenons-nous que nous considérons tous les appareils de taille égale et les taux d'emport égaux),
- r_p et r_c sont les redevances versées aux exploitants aéroportuaires,

- f_p et f_c sont les diminutions d'utilité pour les compagnies engendrées par les retards V qu'elles auront à subir (à cause des heures supplémentaires, des immobilisations des appareils, du carburant supplémentaire...)

L'utilité de l'exploitant aéroportuaire sera :

$$U_p = n_p \cdot p_p$$

$$U_c = n_c \cdot p_c$$

respectivement pour l'heure de pointe puis pour l'heure creuse, et où :

- n_p et n_c sont proportionnels au nombre de vols en heure de pointe et en heure creuse (souvenons-nous que les proportions d'appareils et de passagers dans chaque catégorie sont les mêmes).

L'utilité des passagers sera :

$$U_p = U_p^p - p_p - g_p(V(n_p))$$

$$U_c = U_c^p - p_c - g_c(V(n_c))$$

respectivement pour l'heure de pointe puis pour l'heure creuse, et où :

- U_p^p et U_c^p sont les utilités des vols en heure de pointe et en heure creuse pour les passagers (utilité que leur procure la possibilité de voyager rapidement par exemple)
- g_p et g_c sont les pertes d'utilité engendrées par les retards V subis par les passagers

Au bilan, l'utilité totale est :

$$U_t = n_c(U_c^p + U_c^c - f_c(V(n_c)) - g_c(V(n_c))) + n_p(U_p^p + U_p^c - f_p(V(n_p)) - g_p(V(n_p)))$$

On peut simplifier les notations en appelant U la somme des utilités des passagers et des compagnies, et appeler h la fonction f+g (qui ne dépend, finalement, que des proportions dans chaque catégorie) on obtient donc :

$$U_t = n_c(U_c - h_c(n_c)) + n_p(U_p - h_p(n_p))$$

L'utilité est maximale lorsque les dérivées partielles par rapport aux proportions de passagers sont nulles :

$$\frac{\partial U_t}{\partial n_c} = U_c - h_c(n_c) - n_c \cdot \frac{dh_c}{dn_c} = 0$$

$$\frac{\partial U_t}{\partial n_p} = U_p - h_p(n_p) - n_p \cdot \frac{dh_p}{dn_p} = 0$$

On aboutit donc à une répartition de vols, dans les deux catégories de plages horaires, qui répond à la même équation générale de type :

$$\boxed{0 = U - h(n) - n \cdot \frac{dh}{dn}}$$

Analyse des tendances (statique comparative et théorème de l'enveloppe)

A partir de cette équation d'équilibre, il pourra paraître intéressant d'étudier l'influence d'une variation des différentes constantes sur le point d'équilibre.

Variation de U

On sait que

$$(1)\ U = h(n) + n \cdot \frac{dh}{dn}$$

Il s'agit donc de chercher l'évolution du second membre avec n. Dérivons donc ce second membre, nous obtenons :

$$2 \cdot h'(n) + n \cdot h''(n)$$

Souvenons-nous que h est la composée de f+g avec la fonction retard V(n). V(n) est croissante, la composition ne change rien au signe de la dérivée.

On en déduirait donc, et ce résultat est surprenant, qu'une augmentation de l'utilité que procurent les créneaux ne conduit pas nécessairement à une augmentation du nombre de créneaux optimal. Il existerait en effet un nombre rare de cas pour lesquels la dérivée seconde de la perte d'utilité due au retard est suffisamment grande pour que la dérivée du second membre de l'équation (1) soit négative.

Cette condition s'interprète de la façon suivante : lorsque n augmente, l'utilité pour les appareils dans la file d'attente est déjà tellement diminuée par les retards, que l'arrivée d'un appareil supplémentaire diminue cette utilité de façon moins marquée que pour l'appareil précédent. Au bilan, la perte d'utilité à chaque nouvel arrivant diminue, ce qui se traduit donc par cette dérivée seconde négative.

L'explication la plus sage et la plus large est en fait que dans un tel cas, l'utilité totale augmente à chaque nouvel appareil. Le nouvel avion gagne en effet l'utilité U tout en infligeant aux autres appareils une perte d'utilité de plus en plus réduite. L'appareil lui-même subit une perte de h(n) mais puisque la dérivée seconde de h est négative, h' diminue et donc h(n) varie lui aussi peu d'un appareil à l'autre.

Au bilan, on a alors une course vers l'infini, et l'équilibre n'est en fait jamais atteint, d'où le résultat mathématique paradoxal, puisqu'on cherche à étudier la variation d'un équilibre selon la variation des facteurs, alors que l'équilibre n'est jamais atteint...

Variation de α

Nous nous plaçons ici dans cas du premier mécanisme de congestion que nous avons évoqué. L'aéroport ne dispose pas encore de système de créneaux, et on s'interroge sur le trafic optimal que doit recevoir la plate-forme.

Lorsque α augmente, c'est-à-dire lorsque l'on s'éloigne de la limite absolue de trafic (soit parce qu'on a augmenté les capacités, soit parce qu'on a réduit le trafic hors heure de pointe, et donc limité le débordement des files d'attente sur les heures creuses), le retard V(n) diminue, à n donné.

L'effet est donc le même qu'une diminution de n dans l'équation (1). On s'écarte donc de la position d'équilibre. Le retour à cet équilibre passe donc par une augmentation de n qui vient contrebalancer exactement l'effet qu'a eu sur V(n) l'augmentation de α. Au bilan, une augmentation de α permet donc d'augmenter le nombre de vols dans chacune des plages.

Variation de N_0

Lorsque N_0 augmente, cela signifie que le nombre d'avions qui peuvent utiliser les infrastructures sans provoquer de retard augmente. Cela signifie donc aussi que le retard moyen V(n) pour un trafic n donné diminue lorsque N_0 augmente. Au bilan, on se retrouve donc dans la même situation que précédemment, à savoir qu'on s'écarte de la position d'équilibre et qu'on y revient en augmentant n de façon à contrebalancer la diminution de V(n).

Au bilan, une augmentation de N_0 se traduit donc par une augmentation du nombre de vols dans chaque plage.

Remarque sur le nombre de créneaux à attribuer

Nous pouvons tirer deux conclusions principales aux pages précédentes :

- le nombre de créneaux optimal à attribuer, ou tout au moins le nombre optimal de vols qu'il serait souhaitable de voir opérer sur une plate-forme devrait, selon la théorie économique, varier avec l'utilité

associée à chacun des horaires. Les outils pour atteindre cette situation optimale (au sens des utilités que nous avons retenues) seraient notamment des modulations des prix des billets et des redevances, données qui ont disparu dans nos calculs lorsque nous avons sommé les utilités, permettent d'inciter les différents acteurs à s'approcher de cet optimum. L'utilisation et l'esprit de ces outils ont fait l'objet de nombreux travaux économiques, dans le cas des aéroports comme dans le cas des modèles routiers.

- une évaluation numérique du nombre de créneaux optimal dans le cas d'une plage de pointe ou d'une plage en heure creuse nous paraît pour l'instant inaccessible. Des pistes pourraient être d'utiliser pour U une estimation de la valeur d'un créneau, et pour h une estimation du coût du retard pour l'ensemble des acteurs.

Un résultat qui peut paraître contre intuitif est une autre conséquence de ces considérations. Nous avons en effet mis en évidence une relation d'optimum pour chaque plage (heure de pointe / heure creuse) qui est :

$$U_c - h_c(n_c) - n_c \cdot \frac{dh_c}{dn_c} = 0$$

$$U_p - h_p(n_p) - n_p \cdot \frac{dh_p}{dn_p} = 0$$

En heure de pointe, la valeur de U est, par définition, plus élevée. Mais la valeur de h et de sa dérivée sont bien entendu plus élevées également.

Une étude rigoureuse nécessiterait de diviser les deux équations et d'isoler le rapport des deux nombres de créneaux optimaux, mais on se rend facilement compte qu'il existe deux cas possibles :

- soit l'écart entre les deux utilités est grand comparé avec l'écart entre les fonctions h (il y a un vrai avantage à partir en période de pointe, même s'il faut subir un certain retard), et on aboutit à un nombre de créneaux n_p qui est plus grand que le nombre de créneaux n_c en heure creuse. Il faut donc mettre beaucoup de vols, donc provoquer beaucoup de retards, en heure de pointe et très peu de vols en heure creuse pour obtenir un optimum. Cette idée est un peu contre intuitive avec la proposition d'étalement des horaires sur la journée

- soit l'écart entre les deux utilités est faible par rapport au coût du retard (et donc l'écart entre les fonctions h), et c'est le résultat contraire qui s'impose : il faut programmer un faible nombre de vols en heure de pointe et un grand nombre de vols en heure creuse. Ce résultat est un peu contre intuitif avec la définition que l'on se fait d'heure de pointe et d'heure creuse.

6. Application aux parties précédentes

Les résultats de cette modélisation et de cette application économique nous permettent d'éclairer les constats que nous avons dressés au début de cette partie.

Nous avons déjà évoqué au paragraphe précédent les conséquences pour le nombre de créneaux optimal à attribuer.

Par ailleurs, les deux mécanismes de congestion que nous avons mis en évidence permettent de mieux apprécier le découpage de la congestion en deux phases que nous avions proposé en deuxième partie de ce document.

Mais ces derniers résultats appellent surtout quelques commentaires quant aux solutions proposées pour résorber la congestion :

- L'augmentation des capacités tout d'abord, semble répondre plus prioritairement au premier type de congestion et dans une moindre mesure au deuxième type de congestion. Ceci avait déjà été souligné au paragraphe 4 de la troisième partie. Lorsqu'on observe plus en détails, le premier type de congestion répond à un phénomène de goulet d'étranglement, de limitation directe des capacités de l'infrastructure. Toute évolution de ces capacités du goulet joue directement sur le dénominateur dans notre retard moyen V(N) exhibé dans la deuxième paragraphe de cette partie. A l'inverse, les capacités des infrastructures ne sont qu'une partie des paramètres qui interviennent dans le deuxième type de congestion. Leur effet direct est donc moins évident pour des aéroports totalement coordonnés.

- L'augmentation des capacités et/ou la diminution de la demande de trafic constituent l'esprit de la majorité des solutions envisagées. Etudions un peu plus en détails le mécanisme qui sera à l'œuvre dans le deuxième type de congestion (aléas opérationnels). Si on réduit la demande, on réduit proportionnellement la valeur de la variable x, et on réduit la valeur de la congestion selon l'effet de levier que nous avons évoqué dans le paragraphe consacré à ce type de congestion. Notons que ce résultat mathématique combine deux effets différents. Tout d'abord, la réduction de la longueur de la file d'attente créée pendant l'immobilisation de l'infrastructure qui diminue d'autant le temps d'attente moyen. Et d'autre part, la réduction de la probabilité d'incidents engendrée par la réduction du trafic. En cas d'augmentation des capacités, c'est cette fois-ci le dénominateur dans l'expression de x qui varie, puis on retrouve des effets similaires à ceux cités plus haut.

- L'analyse du petit modèle économique apporte également une remarque intéressante en cas d'augmentation des capacités. On va en effet réduire le retard moyen à trafic constant. On en déduit alors que la satisfaction totale va augmenter sous deux effets combinés : d'une part le fait que l'on peut attribuer plus de créneaux en heure de pointe, et qu'on augmente donc le nombre d'acteurs qui en profitent ; et d'autre part par l'augmentation de qualité de service pour les acteurs en heures de pointe et en heures creuses. Remarquons toutefois également qu'il existe un mécanisme de rappel pour les heures de pointe : l'augmentation des capacités diminue le retard moyen dans un premier temps, mais augmente aussi le nombre optimal de créneaux à attribuer, ce qui conduit à une augmentation de la demande, puis du trafic en heure de pointe. Le bilan total n'est donc pas si flagrant qu'on pourrait le croire.

- La modélisation que nous avons réalisée d'un arbitrage entre heure de pointe et heure creuse s'applique de façon tout à fait similaire à d'autres types d'arbitrage dans le transport aérien. Par exemple, elle permet d'étudier l'arbitrage entre deux aéroports (à l'échelle d'une ville, d'une région ou à l'échelle internationale pour comparer deux hubs). Les notions de retards interviennent de la même façon dans la perte d'utilité (« la désutilité »). L'arbitrage se situe alors au niveau des usagers, ou bien des compagnies par exemple.

Un dernier enseignement de la modélisation précédente, qui n'y apparaît pas explicitement mais qui rejoint l'interrogation que nous avions posée sur la pertinence de l'augmentation des infrastructures pour réduire la congestion (première partie de ce document), est qu'une augmentation des capacités permet, grâce à l'augmentation du nombre optimal de créneaux correspondant, d'augmenter le nombre de passagers qui pourront utiliser les infrastructures aux heures de pointe.

Remarque : ce résultat ne nécessitait probablement pas tant de pages de calcul, mais l'équation d'équilibre que nous avons obtenue permet, lorsqu'on y utilise les valeurs numériques, de préciser dans quelle mesure cet effet se vérifie.

Parallèlement, l'augmentation des capacités permet d'augmenter la satisfaction des compagnies aériennes (d'une part en augmentant le nombre de vols qu'elles pourront développer, et d'autre part en permettant éventuellement de franchir le seuil critique qui permet de développer un hub sur la plate-forme concernée). Au bilan, cette augmentation permet de rendre l'aéroport plus compétitif au regard des compagnies aériennes, et est un élément stratégique non négligeable dans les décisions que pourront ensuite prendre tous les acteurs impliqués dans les problématiques de régulation.

Conclusion

Deux éléments ont motivé le choix de notre sujet de mémoire et de l'angle sous lequel il a été abordé. Nous sommes tout d'abord partis du constat que chaque acteur gravitant autour de l'univers aéroportuaire appréhende la congestion via un prisme fort subjectif qui exclut toute dimension économique. Par ailleurs, le contexte mondial de croissance du trafic et le débat, français et médiatisé, autour du 3ème aéroport ou des extensions d'aéroports de province aiguisent l'intérêt porté au problème de la congestion.

Ce mémoire avait dès lors pour objet d'épurer la congestion de toute vision subjective afin d'aider ceux qui le désiraient à mieux comprendre les mécanismes de formation et d'évolution de la congestion. La volonté de clarté dans notre explication qui nous animait nous a incités à concevoir un modèle, que nous avons présenté et illustré en quatrième partie et qui, espérons-le, ouvre une nouvelle voie de réflexion et de prolongement. Le second but de ces travaux était d'adopter une approche économique afin de calculer le coût de la congestion. Au delà de la valeur finalement obtenue d'environ 900 millions d'euros pour l'année 2001 et le seul aéroport de Roissy Charles de Gaulle, ce sont davantage la démarche et la méthodologie qui sont à retenir : aucune étude n'en avait à notre connaissance utilisées de similaires.

Il était, selon nous, pertinent de coupler à une étude des mécanismes de formation de la congestion un spectre de mesures déjà mises en application ou encore à l'étude qui visent à la réduire. Sans tenter de classifier ces mesures par degré d'efficacité, nous nous sommes plutôt efforcés d'insister sur l'utilité de la démarche rationnelle qui viserait, à l'aide d'un modèle tel que le nôtre, à mettre en regard chaque mesure envisagée avec son impact sur le niveau de congestion. Ces travaux ne livrent donc pas *la* solution qui permettrait de résoudre le plus efficacement le problème de la congestion, mais indiquent le moyen d'anticiper pour une mesure ses effets et de discriminer, à partir d'un éventail de solutions, celle qui serait la plus performante.

S'il était possible de tirer quelques enseignements de ces travaux, ils seraient peut-être au nombre de trois.

Tout d'abord, l'extension d'infrastructures ne doit pas être considérée comme l'unique solution au problème de congestion, et ce même si la presse généraliste, se faisant l'écho de certains politiques, la présente comme telle. Guidés par un souci d'exhaustivité, nous avons présenté dans ce mémoire la gamme, nous semble-t-il plus large, des réponses existantes et envisagées.

Deuxièmement, il ne faut pas surévaluer la congestion, ce que pourrait tendre à faire l'opinion publique. Car si la congestion a pour manifestation des retards -que chacun peut observer ou subir au sein d'un aéroport-, tous les retards n'ont pas pour cause une saturation des infrastructures.

Enfin, le niveau optimal de congestion n'est pas celui correspondant à une absence de congestion. Le niveau optimal est le niveau le plus faible de congestion qui peut être atteint sans que les investissements permettant cette réduction ne dépassent les coûts de la congestion supportés par les différents acteurs.

Ces travaux ont été lancés après que la complexité des mécanismes de la congestion, l'importance de ses manifestations et l'ampleur de ses conséquences ont été constatées. Par leur esprit, ils sont à rapprocher de ceux des ingénieurs-économistes du siècle dernier : nous nous sommes en effet efforcés de coupler le calcul économique à des méthodes ou raisonnements d'ingénieurs et nous avons accompagné ces travaux d'une démarche pragmatique, que nous souhaitions non pas guidée par une réflexion abstraite et générale mais éclairée par la recherche de résolution d'un problème bien concret : celui de la congestion.

Annexes :

Annexe 1 : Le mécanisme des créneaux
Annexe 2 : Extraits : Règlement (CEE) n° 95/93 du Conseil, du 18 janvier 1993
Annexe 3: Nomenclature des différentes catégories de causes de retards par IATA
Annexe 4 : Extrait des articles du Code de l'Aviation Civile portant sur les redevances aéroportuaires
Annexe 5 : Décret limitation mouvements Orly
Annexe 6 : Personnes contactées
Annexe 7 : Bibliographie

Annexe 1 : le mécanisme des créneaux

Ce mécanisme a été mis en place sur les aéroports que l'on considère comme saturés et que l'on désigne par coordonnés. Il a un objectif double : celui de réduire la congestion, mais aussi de stimuler la concurrence en favorisant l'émergence de nouveaux entrants dans le domaine du transport aérien.

Le terme de créneau correspond à un droit d'utilisation des infrastructures, précisément une autorisation pour un appareil de décoller ou atterrir à une heure donnée depuis un aéroport donné. En d'autres termes, un appareil ne pourra décoller ou atterrir s'il n'a pas obtenu au préalable un créneau pour l'heure correspondante -en pratique, pendant une tranche de 10 minutes-.

Un comité attaché à chaque aéroport coordonné détermine le nombre de créneaux qui sera alloué pour la saison à venir. Le Comité de Coordination des Aéroports Parisiens (CCAP), composé de représentants de la DGAC, d'ADP et de quelques compagnies dont Air France, joue le rôle de ce comité pour Roissy et Orly et est le lieu de convergence d'intérêts et de contraintes. Ces dernières peuvent être légales, techniques pour l'utilisation des pistes, ou relevant de normes sécuritaires (comme celle visant à éviter les collisions ou les perturbations par les turbulences lorsque les avions décollent ou atterrissent trop près les uns des autres). Les intérêts défendus peuvent être ceux des compagnies aériennes (qui ont besoin de créneaux pour leurs opérations mais ne souhaitent pas la multiplication du nombre de concurrents), ou ceux de l'exploitant aéroportuaire...

L'attribution des créneaux, est quant à elle, réalisée par une autorité indépendante et distincte du comité précédemment cité, désignée par le terme de coordonnateur. En France, le coordonnateur est COHOR, comité de coordination des horaires. COHOR est chargé de collecter les demandes en créneaux formulées par les compagnies, de les étudier et de rendre sa décision. Pour chaque demande, elle est peut-être de trois types : acceptation sans condition, sous réserve de modification de la demande, ou refus. Ses décisions sont rendues près de 6 mois avant le début de la saison. Le COHOR assure un rôle triple: attribuer les créneaux, suivre et surveiller leur utilisation, mettre à disposition des différents acteurs des informations sur leur utilisation passée et présente.

Ce mécanisme reporte une grande partie de la congestion dans la phase liminaire qui précède la phase opérationnelle d'utilisation effective des infrastructures. Ainsi est visé le premier objectif de réduction de la congestion.

Plusieurs sources réglementaires régissent les modalités d'application et de contrôle de ce mécanisme. La source principale est un règlement européen (95/93) rédigé par la commission européenne en 1993. Un extrait sera présenté à la suite de cette annexe, en annexe 2. Y sont explicités quelques règles et principes que doit suivre l'attribution. Les principes sont au nombre de trois : transparence, neutralité, non-discrimination. Parmi les règles figurent :

- La règle des droits du grand-père. Fondée sur les droits acquis, elle stipule qu'une compagnie qui a bénéficié d'un créneau pendant une saison et qui l'a utilisé « suffisamment » se le verra ré-attribuer la saison suivante. L'intérêt ainsi poursuivi est la stabilisation du marché en assurant la continuité du service commercial et en permettant aux compagnies de rentabiliser leurs investissements sur certains créneaux.
- La règle du « use it or lose it ». Cette règle indique que l'utilisation d'un créneau sera jugé « suffisante » si le taux d'utilisation est supérieur à 80%. Si le taux est constaté comme étant inférieur à cette valeur, le créneau est retiré à la compagnie et remis dans un pool. L'intérêt de cette règle est de constituer et de renouveler un pool de créneaux –non utilisés, nouvellement créés ou abandonnés- pour le redistribuer, avec la condition que la moitié d'entre eux ira aux compagnies considérées comme de nouveaux entrants. Le statut de nouvel entrant est par ailleurs strictement défini. Ainsi est visé le second objectif de stimulation de la concurrence.
- L'interdiction de transaction monétaire (achat, vente, location). Au cours de l'attribution des créneaux, seuls les échanges sont permis.

Ce mécanisme n'est pas exempt de faiblesses. Certains dysfonctionnements sont à mentionner :

- Absence de contrôle et de sanction quant à leur exploitation. Les taux d'utilisation des créneaux ne sont pas systématiquement mesurés. De telles mesures, quand elles ont lieu, ne conduisent pas systématiquement au retrait du créneau incriminé.
- Ordre et niveau d'attribution non optimaux économiquement. L'ordre serait optimal s'il correspondait à celui présenté dans l'exemple des vélos (première partie) : sont servis en premier lieu les agents dont l'utilité est la plus grande. Quant au niveau économiquement optimal, la quatrième partie consacrée à la présentation de notre modélisation montre qu'il ne correspond pas à celui de congestion nulle. Le règlement ne s'assure pas qu'un tel niveau optimal est visé.

- Absence de prise en compte des critères de taille d'avions dans l'allocation des créneaux.
- Existence d'une demande spéculative, les compagnies demandant plus de créneaux que nécessaire ou demandant des créneaux dont les destinations diffèrent de celles réellement exploitées.
- Efficacité limitée par la dualité des objectifs visés, tant au niveau de la réduction de la congestion que de la stimulation de la concurrence. A cet égard, la commission a envisagé un projet de réforme qui instaurerait une allocation primaire des créneaux (mise aux enchères, loterie…) couplée à l'organisation d'un marché secondaire autorisant leur ré-allocation (ventes, locations, échanges…). Néanmoins, ce projet patine.
- Incertitude sur la propriété juridique des créneaux identifiés

C'est un exercice compliqué que serait celui de proposer une ébauche de nouveau règlement européen. Depuis plus de 5 ans maintenant, la Commission est en cours de réflexion sur cette rénovation. Force est de constater que tous les projets proposés jusqu'ici ont soulevé plus de difficultés que d'améliorations.

Nous pouvons toutefois proposer et rappeler modestement quelques pistes qui nous paraissent souhaitables lors de la réforme :

Portée générale

- Affirmer avec force et dissuasion le respect des règles édictées par l'introduction de lourdes sanctions en cas de décollage sans créneau ou volontairement à l'extérieur du créneau qui a été alloué.
- Découpler les réponses à la congestion et la stimulation de la concurrence. Il doit être possible de fixer des règles (quotas sur l'utilisation des infrastructures ou l'exploitation des lignes, logistique, répartition spatiale par exemple) sur le fonctionnement des aéroports et du secteur économique du transport aérien pour réguler les questions de concurrence, tout en réservant le mécanisme des créneaux à la seule réponse à la congestion.

Allocation initiale

- Trouver des pistes pour assurer une allocation plus optimale des créneaux. Une mise aux enchères présente notamment le risque de spéculation par les grandes compagnies aériennes. Toutefois, l'argument de non solvabilité des compagnies ne semble pas retenir notre attention dans le cadre d'une réflexion globale sur le traitement de la congestion dans le milieu aéroportuaire. En effet, les compagnies n'ont probablement pas les moyens aujourd'hui d'absorber de nouvelles dépenses. Mais rien n'empêche de compenser cette allocation payante de créneaux par une diminution des autres charges qu'elles supportent (redevances, taxes…). A enveloppe constante, il y a probablement des possibilités d'optimisation des transferts financiers.

- D'autres pistes pour optimiser l'allocation initiale des créneaux pourraient être recherchées, notamment par des enchères portant non pas sur des sommes d'argent mais sur des engagements (taille d'avion, taux d'utilisation du créneau, etc.)

- Porter d'autres règles pour l'attribution initiale, si on ne retient pas de mécanisme d'enchères financières ou si on souhaite les moduler (application de coefficients) par d'autres critères d'offre que la somme proposée, dont :
  - Une appréciation de la taille des avions (en tenant compte des impératifs d'aménagement du territoire et de rentabilité des hubs)
  - L'existence ou non d'alternatives de transport crédibles (TGV par exemple)

Allocation secondaire

- Fluidifier les allocations secondaires (Autoriser les transactions financières contre déclaration officielle ? Autoriser les échanges sur une autre base que le un pour un ? Transfert de droit du grand-père ?)

Annexe 2 : Extraits : Règlement (CEE) n° 95/93 du Conseil, du 18 janvier 1993

Article premier

Champ d'application

1. Le présent règlement s'applique à l'attribution des créneaux horaires dans les aéroports de la Communauté.

Article 2

Définitions Aux fins du présent règlement, on entend par:

a) « créneau horaire », l'heure prévue d'arrivée ou de départ disponible ou attribuée à un mouvement d'aéronef à une date précise dans un aéroport coordonné aux termes du présent règlement;

b) « nouvel arrivant »:
i) un transporteur aérien demandant que lui soient attribués des créneaux horaires dans un aéroport pour un jour quelconque et disposant de moins de quatre créneaux horaires ou en ayant reçu moins dans cet aéroport, le jour en question
ou
ii) un transporteur aérien demandant que lui soient attribués des créneaux horaires en vue d'un service sans escale entre deux aéroports communautaires, lorsque, au plus, deux autres transporteurs aériens exploitent un service direct entre ces aéroports ou systèmes aéroportuaires, le jour en question, et disposant de moins de quatre créneaux horaires ou en ayant reçu moins de quatre dans cet aéroport, le jour en question, pour ledit service sans escale.
Un transporteur aérien détenant plus de 3 % du total des créneaux horaires disponibles le jour en question, dans un aéroport déterminé, ou détenant plus de 2 % du total des créneaux horaires disponibles le jour en question, dans un système aéroportuaire dont ledit aéroport fait partie, n'est pas considéré comme un nouvel arrivant dans cet aéroport;

c) « service aérien direct », un service assuré entre deux aéroports, escales comprises, avec le même aéronef et le même numéro de vol;

d) « période de planification horaire », la saison d'été ou d'hiver, telle qu'elle est établie dans les horaires des transporteurs aériens;

e) « transporteur aérien communautaire », un transporteur aérien titulaire d'une licence d'exploitation valable délivrée par un État membre conformément au règlement (CEE) no 2407/92 du Conseil, du 23 juillet 1992, concernant les licences des transporteurs aériens (5);

f) « aéroport coordonné », un aéroport où un coordonateur a été désigné pour faciliter les opérations des transporteurs aériens qui opèrent ou envisagent d'opérer dans cet aéroport;

g) « aéroport entièrement coordonné », un aéroport coordonné où tout atterrissage ou décollage, au cours des périodes pendant lesquelles l'aéroport est entièrement coordonné, est subordonné à l'attribution préalable d'un créneau horaire au transporteur aérien par un coordonnateur;

Article 3

Conditions dans lesquelles s'opère la coordination d'un aéroport
3. i) Lorsque des transporteurs aériens représentant plus de la moitié des mouvements dans un aéroport et/ou lorsque les autorités de l'aéroport estiment sa capacité insuffisante au regard des mouvements effectifs ou prévus à certaines périodes
ou
ii) lorsque de nouveaux arrivants éprouvent de sérieux problèmes à obtenir des créneaux horaires
ou
iii) lorsqu'un État membre le juge nécessaire,

Article 4

Coordonnateur

2. L'État membre veille à ce que le coordonnateur accomplisse en toute indépendance les tâches prévues par le présent règlement.

3. Le coordonnateur agit conformément au présent règlement, de façon neutre, non discriminatoire et transparente.

4. Le coordonnateur participe aux conférences internationales de planification des mouvements d'aéronefs des transporteurs aériens dans le respect du droit communautaire.

5. Le coordonnateur est chargé de l'attribution des créneaux horaires.

6. Le coordonnateur surveille l'utilisation des créneaux horaires.

Article 5

Comité de coordination

1. Les États membres veillent à ce que, dans tout aéroport qualifié d'entièrement coordonné, un comité de coordination soit créé pour assister, à titre consultatif, le coordonnateur visé à l'article 4..

Le comité de coordination a, entre autres, pour tâche de formuler des avis sur:

- les possibilités d'accroître la capacité déterminée conformément aux dispositions de l'article 6,
- les manières d'améliorer les conditions de trafic dans l'aéroport considéré,
- l'examen des réclamations concernant l'attribution des créneaux horaires
- la formulation de méthodes de surveillance de l'utilisation des créneaux horaires attribués,
- la formulation d'orientations pour l'attribution des créneaux horaires, compte tenu des conditions locales,
- l'examen des problèmes sérieux éprouvés par les nouveaux arrivants, conformément à l'article 10.

Article 8

Procédure d'attribution des créneaux horaires

1. a) Sous réserve des dispositions de l'article 10, un transporteur qui a exploité un créneau horaire approuvé par le coordonnateur peut prétendre à ce même créneau pour la période de planification horaire correspondante suivante.

2. Lorsqu'une demande de créneau horaire ne peut être satisfaite, le coordonnateur en communique les raisons au transporteur aérien demandeur et lui indique le créneau de remplacement le plus proche.

4. Les créneaux horaires peuvent, en toute liberté, être échangés entre transporteurs ou transférés par un transporteur d'une liaison à une autre ou d'un type de service à un autre, d'un commun accord ou à la suite d'une prise de contrôle partielle ou totale ou unilatéralement. Tout échange ou transfert doit être transparent et être soumis à la confirmation, par le coordonnateur, que l'opération est réalisable et:

a) qu'elle ne nuira pas au fonctionnement de l'aéroport;

b) que les limitations imposées par un État membre conformément à l'article 9 sont respectées;

c) que le changement d'utilisation ne relève pas des dispositions de l'article 11.

5. Les créneaux horaires attribués aux nouveaux arrivants exploitant un service entre deux aéroports communautaires ne peuvent, pendant deux saisons, être échangés entre transporteurs aériens ou transférés par un transporteur aérien d'une liaison à une autre, comme le prévoit le paragraphe 4.

Article 9

Services régionaux

1. Un État membre peut réserver certains créneaux horaires dans un aéroport entièrement coordonné pour des services réguliers exploités à l'intérieur de son territoire:

Article 10

Regroupement des créneaux horaires dans un pool

1. Dans un aéroport où se fait une attribution de créneaux horaires, un pool est constitué regroupant, pour chaque période de coordination, les créneaux horaires nouvellement créés, ceux qui sont inutilisés, ceux qui ont été abandonnés par un transporteur en cours ou en fin de saison ou qui sont devenus disponibles pour d'autres raisons.

Annexe 3: nomenclature des différentes catégories de causes de retards par IATA

IATA : nomenclature internationale	COMUTA : regroupement des causes agrégées utilisées
OTHERS 00 - 05 Airline internal codes 09 (SG) Scheduled ground time less than declared minimum ground time	Enchaînement des rotations (divers)
PASSENGER AND BAGGAGE 11 (PD) Late check-in (acceptance after deadline) 12 (PL) Late check-in (congestion in check-in area) 13 (PE) Check-in error 14 (PO) Oversales, booking errors 15 (PH) Boarding (missing checked-in passenger…) 16 (PS) Commercial publicity / Passenger convenience (VIP, press…) 17 (PC) Catering order (late or incorrect order given to supplier) 18 (PB) Baggage processing	Passagers Compagnies aériennes Passagers Compagnies aériennes
CARGO AND MAIL 21 (CD) Documentation 22 (CP) Late positioning (Cargo) 23 (CC) Late acceptance 24 (CI) Inadequate packing 25 (CO) Oversales 26 (CU) Late preparation in warehouse 27 (CE) Documentation, packing… (Mail only) 28 (CL) Late positioning (Mail only) 29 (CA) Late acceptance (Mail only)	Compagnies aériennes
AIRCRAFT AND RAMP HANDLING 31 (GD) Aircraft documentation late / inaccurate (weight and balance…) 32 (GL) Loading / unloading (lack of staff…) 33 (GE) Loading / equipment (lack of staff…) 34 (GS) Servicing equipment (lack of staff…) 35 (GC) Aircraft cleaning 36 (GF) Fuelling / defuelling 37 (GB) Catering 38 (GU) Uld (lack of serviceability) 39 (GT) Technical Equipment (lack of staff, pushback…)	Compagnies aériennes
TECHNICAL AND AIRCRAFT EQUIPMENT 41 (TD) Aircraft defects 42 (TM) Scheduled maintenance 43 (TN) Non-scheduled maintenance 44 (TS) Spares and maintenance equipment 45 (TA) AOG spares 46 (TC) Aircraft change for technical reasons 47 (TL) Stand-by aircraft 48 (TV) Scheduled cabin configuration / version adjustments	Compagnies aériennes

DAMAGE TO AIRCRAFT & EPD / AUTOMATED EQUIPMENT FAILURE 51 (DF) Damage during flight operations (bird, turbulence…) 52 (DG) Damage during ground operations 55 (ED) Departure control 56 (EC) Cargo preparation / documentation 57 (EF) Flight plans	Compagnies aériennes
FLIGHT OPERATIONS AND CREWING 61 (FP) Flight plan 62 (FF) Operational requirements (fuel, load alteration) 63 (FT) Late crew boarding or departure procedures 64 (FS) Flight deck crew shortage 65 (FR) Flight deck crew special request 66 (FL) Late cabin crew boarding or departure procedures 67 (FC) Cabin crew shortage 68 (FA) Cabin crew error or special request 69 (FB) Captain request for security check (extraordinary)	Compagnies aériennes
WEATHER 71 (WO) Departure station 72 (WT) Destination station 73 (WR) En-route or alternate 75 (WI) De-icing of aircraft 76 (WS) Removal of snow, ice, water and sand from airport 77 (WG) Ground handling impaired by adverse weather conditions	Conditions météo.
ATFM RESTRICTIONS : AIRPORT AND GOVERNMENTAL AUTHORITIES 81 (AT) ATFM due to ATC en-route Demand / Capacity 82 (AX) ATFM due to ATC Staff / Equipment en-route 83 (AE) ATFM due to Restriction at Destination Airport 84 (AW) ATFM due to Weather at Destination 85 (AS) Mandatory Security 86 (AG) Immigration, Customs, Health 87 (AF) Airport Facilities 88 (AD) Restrictions at airport of destination 89 (AM) Restrictions at airport of departure (with or without ATFM)	Navigation aérienne Gestionnaire d'aéroport & Services de sûreté Aéroport ou Navigation aérienne
REACTIONARY & MISCELLANEOUS 91 (RL) Load connection (awaiting load from another flight) 92 (RT) Through check-in error (passenger and baggage) 93 (RA) Aircraft rotation (late arrival of aircraft) 94 (RS) Cabin crew rotation (awaiting cabin crew from another flight) 95 (RC) Crew rotation (awaiting crew from another flight) 96 (RO) Operations control (aircraft change not for technical reasons) 97 (MI) Industrial action with own airline 98 (MO) Industrial action outside own airline (excluding ATS) 99 (MX) Other reason (not matching any code above)	Enchaînements des rotations Compagnies aériennes Enchaînements des rotations

Annexe 4 : Extrait des articles du Code de l'Aviation Civile portant sur les redevances aéroportuaires

CODE DE L'AVIATION CIVILE
(Partie Réglementaire - Décrets en Conseil d'Etat)

Article R224-1

(Décret n° 81-577 du 12 mai 1981 art. 1 Journal Officiel du 17 mai 1981)
(Décret n° 84-28 du 11 janvier 1984 art. 1 Journal Officiel du 15 janvier 1984)
(Décret n° 90-149 du 13 février 1990 art. 1er Journal Officiel du 17 février 1990)
(Décret n° 2002-24 du 3 janvier 2002 art. 10 Journal Officiel du 6 janvier 2002)

Sur tout aérodrome ouvert à la circulation aérienne publique, les services rendus aux usagers et au public donnent lieu à une rémunération, sous la forme de redevances perçues au profit de la personne qui fournit le service, notamment à l'occasion des opérations suivantes :
Atterrissage des aéronefs ;
Usage des dispositifs d'assistance à la navigation aérienne ;
Stationnement et abri des aéronefs ;
Usage des installations aménagées pour la réception des passagers et des marchandises ;
Usage d'installations et d'outillages divers ;
Occupation de terrains et d'immeubles ;
Visite de tout ou partie des zones réservées de l'aérodrome ;
Accès à certaines parties de la zone publique.
Les redevances devront être appropriées aux services rendus.
Les redevances revenant à l'Etat, à des collectivités publiques et établissements publics sont perçues par un comptable public.
Elles sont recouvrées selon les règles propres à la collectivité ou à l'établissement qui en bénéficie et en ce qui concerne l'Etat, selon les règles prévues en matière de créances domaniales ou en vertu de titres de perception émis par les préfets.
Lorsque les redevances sont perçues au comptant leur encaissement peut être assuré par un régisseur.

Article R224-2

(Décret n° 72-435 du 19 mai 1972 art. 1 Journal Officiel du 27 mai 1972)
(Décret n° 74-179 du 26 février 1974 art. 1 Journal Officiel du 1 mars 1974)
(Décret n° 81-577 du 12 mai 1981 art. 2 Journal Officiel du 17 mai 1981)
(Décret n° 84-28 du 11 janvier 1984 art. 2 Journal Officiel du 15 janvier 1984)
(Décret n° 90-149 du 13 février 1990 art. 1er Journal Officiel du 17 février 1990)
(Décret n° 97-548 du 29 mai 1997 art. 1er Journal Officiel du 30 mai 1997)
(Décret n° 99-408 du 21 mai 1999 art. 1 Journal Officiel du 26 mai 1999)

I. Conditions d'établissement et de perception des redevances pour :
- atterrissage des aéronefs de six tonnes et plus
- usage des dispositifs d'assistance à la navigation aérienne par les aéronefs de six tonnes et plus
- stationnement des aéronefs de six tonnes et plus
- usage des installations aménagées pour la réception des passagers et des marchandises
- installations de distribution de carburants d'aviation,

sont déterminées par arrêté interministériel après avis du Conseil supérieur de l'aviation marchande.

II. Les taux des redevances mentionnées au I ci-dessus sont fixés :
pour Aéroports de Paris, par son conseil d'administration ;
pour les autres aérodromes, par l'exploitant.

Si l'aérodrome est doté d'une commission consultative économique, les taux sont fixés après avis de cette commission.

Annexe 5 : décret Orly

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT,DES TRANSPORTS ET DU TOURISME

Arrêté du 6 octobre 1994 relatif aux créneaux horaires sur l'aéroport d'Orly

Le ministre de l'équipement, des transports et du tourisme, Vu le règlement du conseil (C.E.E.) no 2408/92 du 23 juillet 1992 concernant l'accès des transporteurs aériens communautaires aux liaisons aériennes intracommunautaires, et notamment son article 8.2; Vu le règlement du conseil (C.E.E.) no 95/93 du 18 janvier 1993 fixant des règles communes en ce qui concerne l'attribution des créneaux horaires dans les aéroports de la Communauté; Vu le code de l'aviation civile, et notamment ses articles R. 221-1 et R. 221-3; Considérant qu'il convient, pour protéger les riverains contre les nuisances sonores, de fixer le trafic de l'aéroport d'Orly à environ 200 000 mouvements par an, objectif fixé par le schéma directeur de la région d'Ile-de-France approuvé par le décret du 26 avril 1994, Arrête:

Art. 1er. - Le nombre maximum de créneaux horaires attribuables par le coordonnateur de l'aéroport d'Orly est fixé à 250 000 sur deux périodes de planification horaire consécutives (été et hiver).

Art. 2. - Dans la période comprise entre 6 heures et 7 heures locales, et entre 22 heures et 23 h 30 locales, le nombre de créneaux horaires attribuables par le coordonnateur de l'aéroport d'Orly ne peut dépasser la moitié de la capacité disponible au sens de l'article 6 du règlement (C.E.E.) no 95/93 susvisé, telle que limitée par les dispositions de la décision du 4 avril 1968 portant réglementation de l'utilisation de nuit de l'aéroport d'Orly.

Art. 3. - Le présent arrêté est applicable à compter du 30 octobre 1994, début de la période de planification horaire de l'hiver 1994-1995.

Art. 4. - Le directeur général de l'aviation civile est chargé de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Décision portant réglementation de l'utilisation de nuit de l'aéroport d'Orly.

LE MINISTERE DES TRANSPORTS

Vu le Code de l'aviation Civile, et notamment son article R 221-3

TITRE I - HORAIRES

ARTICLE 1.- Aucun atterrissage d'aéronef équipé de turboréacteurs ne sera programmé entre 23H30 et 06H15 (heure locale d'arrivée sur l'aire de stationnement).

Aucun atterrissage pour retard accidentel ne sera admis après 23H30; cette disposition ne s'étend pas aux situations susceptibles de mettre en cause la sécurité de l'aéronef, réservées à la seule appréciation du Commandant de Bord, sous réserve d'une justification à posteriori.

ARTICLE 2.- Aucun décollage d'aéronef équipé de turboréacteurs ne sera programmé entre 23H30 et 06H00 (heure locale de départ de l'aire de stationnement).

Aucun décollage pour retard accidentel ne sera admis après 23H30

ARTICLE 3.- Toute dérogation exceptionnelle au régime défini aux articles 1 et 2 ci-dessus, au bénéfice d'aéronefs commerciaux, ne pourra être accordée que par le Secrétaire Général à l'Aviation Civile.

ARTICLE 4.- Les restrictions ci-dessus définies ne s'appliquent pas aux aéronefs d'Etat ni aux aéronefs effectuant des missions de caractère humanitaire, réserve faite pour ces derniers d'une justification à posteriori.

ARTICLE 5.- Toute programmation nouvelle de mouvements d'avions à hélices dans les plages horaires définies aux articles 1 et 2 devra être assortie de justifications particulières et fera l'objet, le cas échéant~ d'une décision spéciale du Secrétaire Générale à l'aviation Civile.

TITRE II - CONSIGNES TECHNIQUES D'EXPLOITATIOn

ARTICLE 6.- Tous les décollages effectués entre 23H30 et C6H00 (heure du 1acher des freins) auront lieu vers l'Ouest, soit sur la piste 3, soit sur la piste 4, en fonction de la disponibilité de ces deux pistes, et pour autant que la composante de vent arrière ne soit pas supérieure à 8 nœuds.

ARTICLE 7.- Tous les atterrissages effectués entre 23H30 et 06H00 (heure du toucher des roues) auront lieu vers l'Est, soit sur la piste 3, soit sur la piste 4, en fonction de la disponibilité de s deux pistes, pour autant que la composante de vent arrière ne soit pas supérieure à 8 nœuds, et que des considérations techniques (rafales de vent, adhérence de la piste) ne s'y opposent pas. Dans ce dernier cas, le Commandant de Bord fournira dans son rapport de vol les justifications du choix d'une autre piste et la Compagnie les transmettra a l'Aéroport de Paris.

ARTICLE 8.- Lorsque les aéronefs à hélices utiliseront la piste 3 pour décollage vers l'Ouest entre 23H30 et 06H00 (heure du lâcher des freins), le point fixe éventuel sera effectué à l'intersection des pistes 1 et 3. Le décollage sera en principe effectué à partir du même point: toute utilisation par un Commandant de Bord d'une plus grande longueur de piste devra être justifiée à posteriori par des conditions susceptibles de mettre en cause la sécurité de l'appareil.

ARTICLE 9.- Les aéronefs équipés de turboréacteurs effectuant des atterrissages entre 23H30 et 06H00 (heure du toucher des roues) seront manœuvrés au tracteur sur les voies de circulation.

ARTICLE 10.- L'utilisation des dispositifs de freinage au moyen des groupes moteurs (inversion de flux Ou du pas des hélices) est interdite entre 22H00 et 06H15, sauf raisons particulières mettant en jeu la sécurité et dont le bien-fondé est apprécié à posteriori sur un rapport du Commandant de Bord.

ARTICLE 11.- Les essais de moteurs dans la zone industrielle Nord sont Interdits entre 23H15 et 06H00, sauf lorsqu'ils sont exécutés avec un réducteur de bruit d'un modèle agréé par l'Administration.

TITRE III- DISPOSITIONS GENERALES

ARTICLE 12.- Le Secrétaire Général à l'Aviation Civile est chargé de l'exécution de la présente décision, qui prendra effet le 15 avril 1968.

Annexe 6 : Personnes contactées

Nous tenons à remercier sincèrement et chaleureusement toutes les personnes qui nous ont tant aidés dans notre travail :

Pilote de ce mémoire

M. François LEVEQUE	Chercheur en économie industrielle, CERNA - ENSMP

Aéroports de Paris

M. Jean-Luc BARCON-MAURIN	Département Juridique
M. François BERISOT	Département Stratégie
M. René BRUN	Département Exploitation
Mme Dominique LAFOUGE	Directeur Département Juridique
M. Fabien LAWSON	Département Stratégie
M. Frédéric RICO	Directeur Opérations Aériennes
M. Daniel SALLIER	Responsable du Pôle Statistiques, Prévisions et Simulations
Mme Sylvette TOCHE	Directeur Département Stratégie
Mme Isabelle WALLARD	Directeur Département Relations Compagnies

Air France

Mme Françoise BECHET	Directeur Programme Ponctualité
M. Alain BERNARD	Direction du Programme
M. Bernard LAC	Programme Ponctualité
M. Bruno MATHEU	Directeur Général Adjoint du Groupe
M. Bernard PEIRON	Directeur Programme
M. Guy ZACKLAD	Directeur Production du Personnel Navigant

Comité de coordination des horaires (COHOR)

M. Eric HERBANE	Directeur
M. Sébastien KLEIN	Chargé de mission

Direction Générale de l'Aviation Civile

Mme Géraldine BAILLET	Direction des Transports Aériens
M. Patrice DESVALLEES	Direction des Transports Aériens
M. Frédéric GUIGNIER	Service des Bases Aériennes
M. Florian GUILLERMET	Aujourd'hui chez Eurocontrol
Mme Florence INZERILLI	Service des Bases Aériennes
M. Michel MAMAN	Service des Bases Aériennes
M. Robert MAURI	Direction des Transports Aériens
M. Pierre PAPE	Direction des Transports Aériens
M. François RICHARD-BOLE	Conseiller Technique Directeur Général

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

M. Dominique BUREAU	Directeur Direction Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale

Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie

M. Gautier CHATELUS	Direction de la Prévision
M. Patrice MOURA	Direction de la Prévision

Hauts Fonctionnaires

M. Jean BERGOUGNOUX	Président de la Commission du Débat Public sur l'aéroport de Notre-Dame-des-Landes
M. le Préfet CARRERE	Ancien Président Commission du Débat Public sur l'extension des infrastructures de Roissy / CDG

M. Claude MARTINAND	Vice-Président du Conseil Général des Ponts
Mme Sophie MOUGARD	Ancien membre du cabinet de Lionel JOSPIN

Commission Européenne

Mme Olga KOUMARTSIOTI	DG Transports Energie
M. Laurent MUSCHEL	DG Transports Energie
M. Roderic VAN VOORST DOT VOORLT	DG Transports Energie

Milieu Universitaire

M. Yves CROZET	Directeur Laboratoire Economie des Transports (Lyon)
M. Frantz DISSLER	Aujourd'hui Direction Régionale Equipement (Midi Pyrénées)
M. Matthieu GLACHANT	Chercheur en économie industrielle, CERNA - ENSMP
M. Claude HENRY	Directeur Recherche Ecole Polytechnique
M. Alain JEUNEMAITRE	Directeur Recherche Ecole Polytechnique / Oxford
M. Nathalie LENOIR	Chercheur Ecole Nationale de l'Aviation Civile

Annexe 7 : Bibliographie

François LEVEQUE, 1999-2000, cours de l'Ecole des Mines de Paris, *Economie de la réglementation*

François LEVEQUE, 1997, article de L'Art du Management, Financial Times Mastering Series, Village Mondial Ed., *Réglementer le déréglementation*

François LEVEQUE, 1997, Communication à l'atelier de la concurrence (DGCCRF), Ministère de l'économie des finances et de l'industrie, *Insights from micro-economics into the monetary trading of slots and alternative solutions to cope with congestion at EU airports*

François LEVEQUE, 2000, E. Quinet, Dr., Chapitre 9, Conférence Jules Dupuit, *Eléments d'analyse économique du droit appliquée à la gestion des créneaux aéroportuaires en Europe*

François LEVÊQUE, Bénédicte MOLIN, Alain BONNAFOUS et Yves CROZET, 1998, étude réalisée pour Aéroports de Paris par le centre d'économie industrielle de l'Ecole des Mines de Paris (CERNA) et le laboratoire d'économie des transports (LET), *La gestion des créneaux aéroportuaires»*

Frantz DISSLER, 1994, Thèse de doctorat, *Congestion aéroportuaire et tarification*, Université des Sciences Sociales de Toulouse.

Grégoire MARLOT, 2002, Thèse de doctorat, *Efficacité et acceptabilité de la régulation de la congestion*, Faculté de Sciences Economiques et de Gestion, Université Lumière Lyon 2.

Yves CROZET et Jorg GUESNET, septembre 2002, étude de recherche réalisée pour Aéroports de Paris, *La détermination des redevances aéroportuaires : repères théoriques et études de cas*

Aéroports de Paris, Aéroports magazine, mai 2002, *Trafic aéroportuaire 2001 : le palmarès mondial*

Présidence du groupe de travail de Claude MARTINAND, 2002, étude réalisée pour Aéroports de Paris, *Régulation économique des redevances aéronautiques*

Présidence du groupe de travail de Marcel BOITEUX, 2001, étude réalisée pour le commissariat général au plan, *Transports :choix des investissements et coûts des nuisances*

Aéroports de Paris, 2002, *Rapport annuel 2001*

Cour des Comptes, 2003, *Rapport annuel 2002*

Commission Européenne, 18 janvier 1993, *Règlement (CEE) N° 95/93 fixant des règles communes en ce qui concerne l'attribution des créneaux horaires dans les aéroports de la Communauté COM(2001) 335 final)*

Commission Européenne, 2001, *Proposition de règlement du parlement européen et du conseil modifiant le règlement (CEE) N° 95/93*

Commission Européenne, 2001, *Livre blanc sur la politique européenne des transports à l'horizon 2010 : l'heure des choix*

Commission Européenne, 2002, *Un ciel unique européen*

International Airport Transport Association, 2002, 6th edition, *Worldwide scheduling guidelines*

Institut du transport aérien, 2000, *Costs of air transport delay in Europe*

Comité des Usagers du Transport Aérien (COMUTA, Direction Générale de l'Aviation Civile), 2002, *L'observatoire des retards du transport aérien : bilan intermédiaire 1er semestre 2002*

Comité des Usagers du Transport Aérien (COMUTA, Direction Générale de l'Aviation Civile), 2002, *Etude du retard moyen par vol réalisé et du retard moyen par vol retardé de quinze minutes et plus*

Airport Council International, 2002, position paper, *The position of Europe's airports on the White Paper on European transport policy for 2010*

Airport Council International, 2001, position paper, *Slot allocation : the airport perspective*

Airport Council International, 2001, position paper, *ACI position paper on the proposal for the regulation amending Council Regulation (EEC) N° 95/93 on common rules for the allocation of slots at Community airports (COM(2001) 335 final)*

Airport Council International, 2002, position paper, *ACI Europe position on proposal for a directive on the establishment of a community framework for noise classification of civil subsonic aircraft for the purposes of calculating noise charges ((COM(2001) 74)*

Airport Council International, 2002, ACI Europe report, *Airports charges in Europe*

European Union Airport Coordination Association, 2002, position paper, *Position paper on the proposal for the regulation amending Council Regulation (EEC) N° 95/93 on common rules for the allocation of slots at Community airports (COM(2001) 335 final)*

Organisation de l'Aviation Civile Internationale, 2001, sixième édition, *Politique de l'OACI sur les redevances d'aéroport et de services de navigation aérienne*

Jean-Baptiste STUCHLIK, 1999, article de La Recherche N° 319, *Le chaos programmé du ciel européen*

Annales des Mines, avril 2002, R*esponsabilité et environnement, analyse du débat : troisième aéroport, OGM*

Sites Internet :

- Direction Générale de l'Aviation Civile
- Aéroports de Paris
- Air France
- Comité de coordination des horaires (COHOR)
- Aéroport de Francfort
- Aéroport de Heathrow
- Commission Européenne
- Eurocontrol

- Ecole Nationale de l'Aviation Civile
- Laboratoire des Transports (ISH-Université de Lyon)
- Centre d'économie industrielle, CERNA (Ecole des Mines de Paris)

- OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale)
- IATA (International Air Transport Association)
- ACI (Airport Council International)
- CEAC (Conférence Européenne de l'Aviation Civile)
- EUACA (European Union Airport Coordination Association)