UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LES CONSÉQUENCES DE LA DISCRIMINATION TARIFAIRE APPLIQUÉE À L'USAGE PAR LES AÉRONEFS DES SERVICES AÉRONAUTIQUES ET DE LA NAVIGATION AÉRIENNE

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAITRISE EN ÉCONOMIQUE

PAR

KATHY LAFRAMBOISE

JANVIER 2010

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier sincèrement mon directeur ainsi que mon co-directeur de maîtrise : Douglas Hodgson du Département des sciences économiques de l'Université du Québec à Montréal pour m'avoir fait confiance en terrain inconnu et Marc Gaudry du Département des sciences économiques de l'Université de Montréal pour m'avoir guidée dans la quête de mon sujet de recherche. De plus, je tiens à remercier les professeurs Gilles Dostaler et Joost De Laat pour leur soutien initial. Ils m'ont permis d'amorcer une réflexion sérieuse au niveau du transport aérien. Un remerciement spécial à T. Flouris et à L. Scala qui m'ont ouvert les portes de New York. Merci infiniment à J. Quayson et J. Vizner pour leur confiance en moi. Leur collaboration à mon projet est un privilège extraordinaire, car elle a permis l'aboutissement de mon rêve. Merci également à des personnes significatives de certaines organisations qui ont partagé leur temps et leur passion avec moi. Je souligne principalement G. Brazeau, A. Brown, D. P. Kaplan et B. Perguillan des organismes suivants :

- Port of New York & New Jersey
- LECG Aviation (Washington, DC)
- Concordia University- John Molson Business School, International Aviation
- Université de Montréal
- Siège de l'OACI, Montréal
- IATA (Montréal, Miami et Genève)
- SUNY Farmingdale (New York)
- York College (New York)
- Webster College (New Hampshire)
- Transport Canada (Ottawa)

Et finalement, je tiens à remercier sincèrement ma confidente par excellence, M. Jacques, pour son soutien et encouragement. Merci à G. Sinisterra pour son savoir économique ainsi qu'à mon ami H. Dahani pour ses connaissances et son expérience en ingénierie. Des mercis spéciaux à mon grand ami D. Cyr pour son esprit scientifique ainsi qu'à sa soeur, M.-F. Cyr pour son œil de lynx dans la correction et leur dynamisme rafraichissant dans les derniers milles pour franchir la ligne d'arrivée. Et merci à ma correctrice L. Gauthier. Toutes ces contributions, de près ou de loin, ont rendu possible la réalisation de mon mémoire.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS ii
LISTE DES TABLEAUX ET GRAPHIQUES iv
RÉSUMÉ v
INTRODUCTION 1
CHAPITRE I
PRINCIPE ÉCONOMIQUE DE LA TARIFICATION 4
CHAPITRE II
DÉFINITION DES SERVICES D'INFRASTRUCTURE 13
2.1 Service d'usage des aéroports 13
2.2 Service de navigation aérienne (SNA) 15
2.3 Systèmes : public, mixte et privé 17
2.4 L'ingénierie en aéronautique 20
2.4.1 Les aéronefs 22
2.4.2 L'impact d'un aéronef sur l'usure de la piste 23
2.4.3 La piste 25
CHAPITRE III
LA LITTÉRATURE ÉCONOMIQUE 30
3.1 L'évolution de la règle de Ramsey 31
3.2 Cejas-Rendeiro et Morisson 33
3.2.1 Coût moyen ou méthode traditionnelle en vigueur 33
3.2.2 Coût marginal et tarification en période de pointe 37
3.2.3 Application de la méthode Ramsey 39
CHAPITRE IV
L'AÉROPORT DE JOHN F. KENNEDY INTERNATIONAL 47
4.1 La capacité de John F. Kennedy International 47
4.2 Le niveau de la demande 50

4.3 Détermination des coûts du service des aéroports 55
4.4 Tarification des services aéroportuaires 58
4.5 Tarification des services de navigation aérienne 63
CHAPITRE V
APPLICATION PRATIQUE DE L'ÉQUATION RAMSEY 69
5.1 Expérience empirique.....69
5.2 Les résultats Ramsey attendus 71
5.3 Les résultats obtenus 73
5.4 Un modèle amélioré 80
RÉFÉRENCES 84

LISTE DES TABLEAUX ET GRAPHIQUES

1.1 Fixation du prix au coût marginal de court terme sans congestion
1.2 Fixation du prix au coût marginal de court terme en période de pointe

2.1.1 Organigramme de fonctionnement d'un aéroport
2.4.1.1 Critères de performances des avions à l'étude
2.4.3.1 Caractéristiques de John F Kennedy Intl
2.4.3.2 Opérations totales annuelles (décollage et atterrissage) - John F Kennedy Intl

4.1.1 La capacité disponible de John F Kennedy Intl
4.2.1 Total des mouvements d'aéronefs à John F Kennedy Intl, 1988-2008
4.2.2 Pourcentage des mouvements annuels par classe d'aéronefs, 1990-2008
4.2.3 Pourcentage du poids total annuel par classe d'aéronefs, 1990-2008
4.3.1 Coût total d'opération et d'entretien de John F Kennedy Intl
4.3.2 Ventilation du coût total du terrain d'aviation à JFK Intl
4.4.1 Structure du droit d'atterrissage : prix au coût moyen
4.4.2 Évolution du prix au coût moyen par 1000 livres, 1957-2009
4.4.3 Prix total par type d'aéronef, 2008

5.3.1 Coût par bloc d'heures
5.3.2 Prix Ramsey basé sur le coût total de l'aéroport JFK Intl
5.3.3 Prix Ramsey basé sur le coût total du terrain d'aviation de l'aéroport JFK Intl
5.3.4 Prix Ramsey en comparaison avec le tarif actuel pour une distance cohérente
5.3.5 Bénéfice par aéronef en fonction du type de tarification

RÉSUMÉ

La discrimination tarifaire pratiquée dans les services de contrôle aérien et dans l'usage des aéroports par les aéronefs a attiré l'attention de plusieurs économistes ainsi que les experts de l'OACI ces dernières années. Le rapport final de la Commission royale sur le transport des voyageurs au Canada (ministre des Approvisionnements et Services, 1992) s'avère le document d'inspiration dans la rédaction de ce mémoire, car il résume les points importants de la problématique à l'étude et sera enrichi d'articles scientifiques plus récents. Le présent texte a comme premier objectif d'évaluer l'implication de la discrimination tarifaire dans les méthodes officielles de calcul des redevances liées à l'usage des services des aéroports aux niveaux américain, canadien et européen ainsi qu'au contrôle de la sécurité, via NAVCANADA, EUROCONTROL et FAA. En deuxième lieu, nous cherchons à valider la théorie du prix Ramsey pour les services aéronautiques mais d'un point de vue pratique. La méthodologie proposée pour atteindre les deux objectifs visés par cette recherche est une approche microéconomique appliquée à l'aéroport John F. Kennedy Intl. La description statistique de JFK facilite la compréhension des termes propres à l'industrie aérienne. Les variables de coûts, de revenus et d'opérations sont ensuite exploitées dans la comparaison économique des gros (*wide body jet*), moyens (*narrow body jet*) et petits (*regional jet*) transporteurs commerciaux afin de répondre aux interrogations de l'étude en cours. On constate que la discrimination tarifaire n'est pas sans effet dans un ciel non congestionné mais que ce concept n'est pas applicable en situation de congestion pour les services de navigation aérienne. Ce raisonnement est inversé pour l'usage des aéroports par les aéronefs. Finalement, l'application du prix optimal Ramsey permet de générer des bénéfices qui dépassent largement ceux gagnés par la redevance d'atterrissage actuelle. De plus, un prix Ramsey basé sur le coût total du terrain d'aviation semble plus réaliste qu'un prix Ramsey en lien avec le coût total de l'aéroport JFK. Cependant, on constate que dans le modèle, la variable « coût par bloc d'heures » cause certaines distorsions dans les résultats prévus par les auteurs étudiés. Il faudrait revoir certaines considérations techniques et scientifiques avant d'affirmer que la théorie du prix Ramsey est parfaitement fonctionnelle dans la réalité.

Mots clefs: aviation, aéronef, tarification, capacité, investissement, coûts et production.

INTRODUCTION

Depuis la Convention de Chicago en décembre 1944, les fondements de la structure économique des redevances aériennes, qui justifient la valeur marchande d'un service d'aéronef en vol ou au sol, sont restés sensiblement les mêmes. Après la Deuxième Guerre mondiale, la référence à des indicateurs économiques généraux dans la mise en place d'une tarification ne soulevait pas de réflexion dans l'industrie de l'aviation puisqu'on ne dénombrait qu'un faible volume annuel de mouvement d'aéronefs commerciaux et que les avions avaient un profil technique semblable. Le progrès technologique a sûrement une incidence significative dans l'économie du transport aérien.

Face à la réalité d'une demande sans cesse croissante et des types d'avions de plus en plus diversifiés, une rivalité commence à apparaître entre aéroports pour la fixation des redevances aéronautiques, dont certains gagnent au change. La notion d'équité n'est pas respectée et entraîne une augmentation de la congestion. Bien souvent, les autorités aéroportuaires sont plus motivées à combler les besoins en construction d'infrastructure que d'assurer l'efficacité économique de leur aéroport.

Actuellement, le système de calcul des redevances d'atterrissage ne semble pas mesurer avec exactitude les coûts attribués à l'usure, car tous les utilisateurs sont facturés à un tarif moyen identique. Selon les experts, une discrimination des prix basée sur le poids des aéronefs dans les aéroports non congestionnés peut être efficace pour la couverture des coûts. Cependant, lorsqu'un aéroport est congestionné, avec de faibles coûts marginaux et d'énormes coûts fixes au niveau du terminal et du terrain d'aviation, ce prix discriminatoire est inefficace en présence d'externalités négatives. La faible valeur des vols ne couvre que partiellement les coûts totaux des opérations puisqu'il faut prendre en considération les coûts des délais imposés sur les autres. Dans ce cas, la tarification du service aéronautique est inefficace économiquement parce que la fonction de coût total actuel d'un aéroport ne reflète

pas les coûts réels. Par conséquent, on assiste à des pénuries générales, à des périodes de congestion aérienne et à un gaspillage des ressources en termes de main-d'œuvre et de temps.

Bien que la fixation du droit d'atterrissage ait connu quelques modifications au cours du temps, il a été démontré que le poids d'un aéronef est un « proxy[1] » raisonnable de l'élasticité de la demande mais représente faiblement les coûts de congestion, ce qui réduit l'efficacité économique. De plus, des études ont démontré que l'aviation générale (privée et récréative) est avantagée par rapport à l'aviation commerciale (transporteurs). Il y a lieu de se poser la question suivante : les formules utilisées sont-elles encore valables et efficaces pour la couverture des coûts et du rendement financier à l'économie d'aujourd'hui ?

En 2007, une conférence de la *Federal Aviation Administration* (FAA) a remis en question les principes de base de la tarification de l'usage des services aéronautiques. George W. Bush propose une augmentation des recettes de l'aviation civile par une restructuration des redevances aériennes entre l'aviation privée et commerciale. Il suggère aussi de mieux définir les composantes de la structure de coût de la production de services utilisés par les compagnies aériennes et d'énumérer les facteurs réels qui sont responsables des fluctuations des coûts.

Il a été reconnu que la fixation d'un prix Ramsey constitue la méthode la plus efficace pour recouvrir l'intégralité des coûts fixes et maintenir la plus petite déviation d'une production à un prix au coût marginal pour un aéroport qui engendre des coûts supplémentaires reliés à la congestion. Le chapitre 3 détaille la théorie reliée au prix Ramsey.

Le but de cette étude est de distinguer statistiquement la part des opérations privées et commerciales dans le temps et d'évaluer la redevance actuelle pour l'aéroport John F. Kennedy International en comparaison avec les résultats calculés par la formule Ramsey. Une approche microéconomique sous l'angle de la fonction de bénéfices partiels au niveau de

[1] Le poids des aéronefs est une variable représentative dans le calcul des revenus des aéroports non congestionnés. Il permet d'obtenir une bonne approximation de l'élasticité de la demande.

la redevance d'atterrissage pour l'aéroport JFK Intl est utilisée pour analyser la problématique. En plus d'évaluer l'implication de la discrimination dans les tarifs facturés aux compagnies aériennes pour les services aéronautiques.

Le corps de ce document de recherche se divise en cinq chapitres. Le premier chapitre explique les principes théoriques de la tarification. Ensuite, puisqu'il est difficile de s'introduire dans une sphère économique aussi complexe que celle de l'aviation et de l'aéronautique, le chapitre 2 amène une description de l'industrie aérienne. Le chapitre 3 présente la revue de la littérature sur le modèle Ramsey, le chapitre 4 représente un exemple concret appliqué à l'aéroport John F. Kennedy International et le dernier chapitre est une application de la règle de Ramsey, soit une confrontation de la théorie et de la pratique.

CHAPITRE I

PRINCIPE ÉCONOMIQUE DE LA TARIFICATION

Les aéroports sont des monopoles naturels où certaines structures organisationnelles sont à fusions horizontales ou verticales, et pour lesquels un prix unique est facturé à tous les utilisateurs de services. Ces monopoleurs ont le pouvoir de jouer sur les prix en modifiant la capacité disponible. Les gros aéroports[2] se distinguent par des rendements d'échelle constants, alors que les petits connaissent des rendements d'échelle croissants. On remarque aussi que les gains totaux en situation de monopole sont plus petits comparativement à un marché parfaitement compétitif car la réalisation des objectifs d'efficacité économique est moindre. Un prix optimal facturé devrait refléter le coût d'opportunité de l'utilisation des installations. Son degré d'efficacité dépend de la relation entre le prix et le coût marginal. La meilleure combinaison possible des facteurs de production pour réaliser un niveau de production en service représente une allocation efficace des infrastructures aéronautiques mais la répartition des coûts parmi les utilisateurs ne semble pas être juste et efficiente. Certaines catégories d'avions, par leurs caractéristiques techniques et l'impact du nombre de répétitions du mouvement, semblent subir une forme de discrimination puisqu'elles coûtent plus cher, en termes de dommage et d'entretien, à l'aéroport pour offrir et maintenir ses services. Donc, pourquoi la tarification devrait-elle seulement être basée en fonction du poids si l'usure de la piste peut aussi varier en termes de proportion selon l'empreinte de pression du train d'atterrissage et selon la longueur de piste employée ?

Les principes de tarification de l'infrastructure tentent de répondre à un certain nombre de questions telles que : combien d'aéroports ou de kilomètres de piste faut-il construire ?

[2] La fonction de production est homogène de degré 1.

L'infrastructure du transport aérien, spécifiquement les pistes et les aéroports, constitue un capital. Elle reflète une rareté économique, car sa construction et son entretien nécessitent des ressources rares et chaque usage a un coût.

La tarification nécessite à la fois la connaissance du niveau de demande, qui est une forme de mesure pour la valeur économique, et de savoir ce qui constitue la fonction des coûts. Ces notions permettent un meilleur discernement dans l'affectation des ressources, l'équilibre de la valeur révélée des transports ainsi que le coût de la capacité des offreurs de services aéronautiques. Les coûts de la capacité sont définis par les coûts de construction, un taux d'intérêt spécifique et une partie des coûts d'entretien. Le concept de capacité fait aussi référence aux critères de performance des services d'infrastructure offerts au privé et au commercial, aux aspects relatifs aux délais, prédictions, efficacité, disponibilité, accessibilité, environnement et coût du service. Selon Joakim Karlsson, professeur associé à Daniel Webster College de la division de l'aviation, les formules mathématiques de la capacité et du délai sont basées sur la relation entre la vitesse (v_a), la distance (d_a) et le temps (t_a) pour chaque aéronef ($t_a = \frac{d_a}{v_a}$). L'importance de révéler cette information réside dans le fait que ces variables ne sont nullement identifiées dans les calculs de tarification.

« *En ce qui concerne le financement, il est uniquement nécessaire de connaître les coûts, les frais imposés aux usagers étant fixés de manière à recouvrer l'intégralité ou une proportion donnée des coûts*[3] ». Les coûts facturés aux usagers, par exemple à Air Canada ou American Airlines, doivent en principe couvrir les coûts des aéroports. La première source de financement est constituée d'un droit d'atterrissage basé sur le poids et désigne le fondement de la forme de fixation de la valeur du service (Walter, 1978). Les autorités aéroportuaires ont instauré le droit d'atterrissage comme méthode de répartition des ressources. Ce prix repose sur des objectifs de maximisation des profits, de bien-être ou de recettes.

[3] Le rapport final de la *Commission royale sur le transport des voyageurs au Canada*, vol. 3, p. 576.

En principe, ce tarif est en rapport avec les ressources consommées et la mesure du coût de la production du service. Il s'évalue au niveau des conséquences en termes de bien-être. Une allocation optimale est atteinte lorsque le prix de chaque produit correspond au coût le plus faible possible en ressources requises à la réalisation d'une unité supplémentaire de ce produit. En ce point, le prix est égal au coût marginal, soit $p = Cm$. Il est important de souligner que l'industrie aérienne considère le coût variable moyen comme une bonne approximation d'un prix au coût marginal. À court terme, les coûts en capitaux ne sont pas couverts.

Les méthodes de financement visent l'efficacité économique et l'égalisation des coûts et des recettes. En ce qui a trait à l'efficacité économique en termes de rendement, les gestionnaires des aéroports estiment le seuil de rentabilité financière ou profit nul atteint quand, à court terme, le prix du marché est égal au minimum du coût moyen. Lorsque le prix y est supérieur, on parle de profit, alors que l'inverse résulte en pertes (déficits). Il est cependant difficile de répondre simultanément à ces critères d'optimisation. Les aéroports non congestionnés semblent ne pas poser problème.

Doganis (1992) affirme que, lorsque le niveau de la demande en services aéroportuaires est sous la capacité maximale, le coût marginal d'un mouvement supplémentaire d'un aéronef a un impact presque nul dans les coûts financiers d'un aéroport. L'ajout d'un vol a peu d'effet sur l'usure et les dommages d'une piste, surtout si le trafic est réparti uniformément au cours de la journée mais engendre sûrement une augmentation des coûts d'entretien du terminal. Dans ce cas, la redevance d'atterrissage imposée est petite quand elle est basée sur le coût marginal. Ce faible tarif stimule la demande.

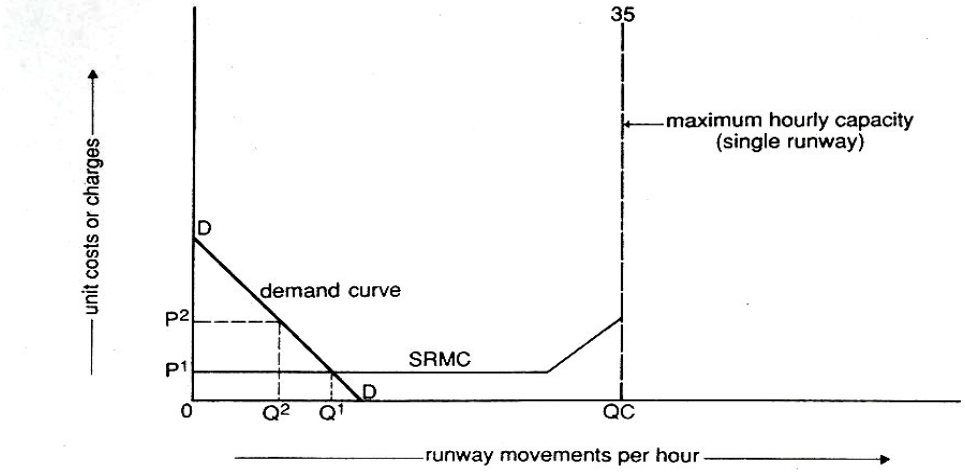
Les investissements en capitaux sont donc ignorés dans la fixation du prix au coût marginal (ou moyen) de court terme afin que le niveau de la demande ne cesse de croître. Par conséquent, le surplus du consommateur sera d'autant plus grand à partir des investissements initiaux.

Il en est tout autrement lorsqu'un aéroport est congestionné. On peut facilement établir un parallèle entre la situation des routes et des ponts avec l'augmentation des activités de l'aviation générale (privée et récréative) et la diminution des opérations commerciales (transporteurs). La situation américaine commence à y ressembler : progressivement, au cours du temps, l'utilisation des services publics (autobus, tramways, livraison du fret et des marchandises) a largement diminué avec la diffusion de la voiture privée. Cet argument est soulevé par plusieurs auteurs. Selon eux, cette situation a entraîné une mauvaise gestion du trafic. De plus, du point de vue historique et politique, les gouvernements ont imposé des caractéristiques institutionnelles dans l'économie des aéroports. Ainsi, ils ont restreint les investissements et réduit l'attribution d'allocations efficaces. La profitabilité a donc été largement négligée et déséquilibrée.

Il faut donc réévaluer la relation entre le taux des redevances aux utilisateurs et le besoin d'agrandir la capacité. Les graphiques 1.1 et 1.2, sur l'application du prix au coût marginal, illustrent bien les mécanismes de répartition des coûts en ressources d'infrastructure.

Dans le graphique 1.1, l'axe horizontal représente le nombre moyen et discret en mouvement d'aéronefs à l'heure alors que l'axe vertical correspond au niveau de la redevance d'atterrissage par mouvement d'aéronefs sur la piste. Le coût unitaire est obtenu en divisant le coût total du terrain d'aviation par le poids total (en livres) des aéronefs accueillis à l'aéroport. Rappelons que le seuil de rentabilité correspond à un prix égal au minimum du coût total moyen ou encore quand le coût marginal est égal au minimum du coût total moyen. Donc, le prix facturé par un aéroport est représenté par un tarif unitaire par tranche de mille livres.

1.1 Fixation du prix au coût marginal de court terme sans congestion

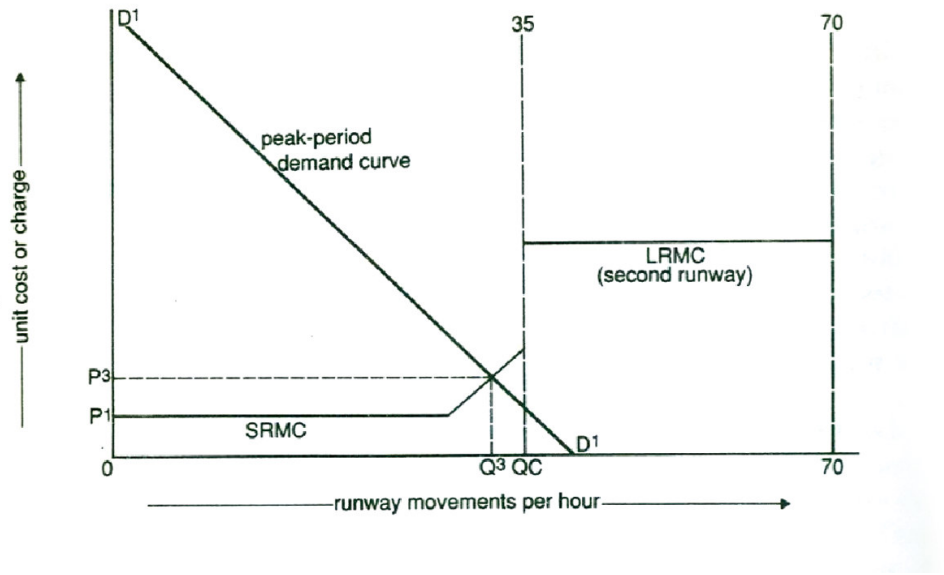


Source : Doganis (1992, p. 87).

Lorsqu'un aéroport n'est pas congestionné, la capacité maximale horaire ($Q_1 < QC$) n'est pas atteinte. Dans le graphique 1.1, le niveau de la demande de court terme (D), qui exclut les coûts de dépréciation du capital, coïncide avec le prix (p_1) facturé aux utilisateurs de services aéronautiques. Si l'on voulait couvrir tous les coûts en capital à ce niveau de demande, le prix facturé serait de p_2 en raison d'un coût moyen total plus élevé. Cependant, il y aurait une sous-utilisation de la capacité causée par un prix au coût marginal accru par rapport à p_1. Par conséquent, des ajustements à la hausse sur la redevance basée sur le coût variable moyen seront appliqués l'année suivante.

Ensuite, à mesure que le trafic devient plus concentré à certaines périodes de la journée, la demande se déplace de D (graphique 1.1) vers D_1 (graphique 1.2).

1.2 Fixation du prix au coût marginal de court terme en période de pointe



Source : Doganis (1992, p. 88).

La quantité demandée (Q_3) se situe dans la partie croissante du coût marginal de court terme jusqu'à s'approcher ou dépasser la quantité maximale offerte par l'aéroport. L'ascension apparente du coût marginal est expliquée par une augmentation des coûts d'exploitation (sécurité, entretien, éclairage, main-d'œuvre, etc.). Lorsque la différence entre les coûts pour les périodes creuses et de pointes devient significative, le prix facturé (p_1) augmente à (p_3) pour soutenir le trafic additionnel. Sinon, il revient à (p_1) quand la demande diminue.

Une indication claire pour savoir si la construction d'une piste est indispensable repose sur la connaissance du niveau réel de la demande, c'est-à-dire que la redevance facturée soit suffisamment élevée pour couvrir à la fois les coûts d'exploitation (variables) et les coûts en installation supplémentaire (fixes). Si à ce nouveau prix de long terme, la demande continue de croître, alors un investissement est justifié. Ce que les utilisateurs d'infrastructure sont prêts à payer est en relation avec le financement de capacité additionnelle.

Si un aéroport avait la possibilité de recevoir un trafic de quantité *n*, alors *n+1* engendrerait la nécessité d'une expansion. Puisque la capacité est indivisible, un investissement tel que la construction d'une nouvelle piste ou d'un terminal a pour effet de doubler la capacité. Puisque le niveau de demande change souvent en fonction de l'heure, du jour de la semaine et de la saison et qu'une variété de services est offerte à un aéroport, la mise en place d'une tarification à long terme cause des difficultés. Actuellement, le partage des coûts entre les usagers ne semble pas être équitable. Les coûts communs[4], les coûts conjoints[5], les coûts évitables[6] ainsi que les coûts d'entretien et d'utilisation transforment l'affectation des coûts en exercice théorique sans méthodologie unique ou incontestable.

Lorsque la capacité (QC) est dépassée, des coûts de congestion, de bruit et de pollution s'ajoutent au coût total actuel de l'aéroport. Graphiquement, la courbe de la demande (D_1) se déplace parallèlement vers le haut au-delà de QC. À ce stade, les utilisateurs sont facturés au coût marginal de long terme qui inclut les coûts en construction et d'opérations d'une deuxième piste, c'est-à-dire à un prix supérieur à (p_3) pour la nouvelle courbe de demande et avec une quantité entre Q_3 et QC jusqu'à ce que la construction soit terminée, afin de satisfaire la demande future. Si à ce nouveau prix, la demande excède encore la capacité maximale de l'aéroport, alors il est certainement indispensable de construire une autre piste. Entre-temps, les aéroports secondaires peuvent toujours attirer la demande excédentaire par leur faible tarif. Les *low-cost carriers* profitent souvent de cette alternative alors que les gros transporteurs de réputation sont incités, par des contrats avantageux de long terme, à rester fidèle à l'aéroport principal.

---

[4] Ils sont généralement répartis en tenant compte de l'espace utilisé par chaque véhicule par unité de temps.

[5] Ils sont impossibles à affecter sur la base de l'usage.

[6] Ils dépendent des relations technologiques mal connues entre la qualité structurelle de la chaussée, les charges essieux dont les effets peuvent dépendre de la régularité de la vitesse pratiquée et de la fréquence des accélérations/décélérations ainsi que le climat. Ils sont généralement répartis suivant le kilométrage pondéré par les coefficients d'équivalence charge essieu simple (ECES), selon les normes américaines dérivées des tests AASHO (Highway Research Board, 1961).

La sélection entre les différents usagers pour payer des redevances de long terme se traduit par un calcul du coût en capital de la nouvelle installation, converti en coût annuel pour ensuite le ramener en valeur actuelle en utilisant le taux d'escompte approprié, lequel sera ajusté plus tard parmi tous les utilisateurs des périodes de pointe, pour tenir compte des coûts d'opération.

En fait, ce que l'on avait estimé pour le futur en termes de trafic aérien, poids et catégories d'avion, s'est produit dans des proportions plus élevées. On n'avait aucunement envisagé un essor technologique aussi rapide. En plus de devoir gérer une croissance de la demande, étudier les impacts d'investissements dans la capacité, on constate que pour un grand nombre de pistes, la construction est désuète et que les données prises en considération ne sont plus les mêmes à notre époque. Les installations sont devenues moins sécuritaires plus rapidement. Donc, les réparations des infrastructures en place nécessitent aussi une évaluation des coûts additionnels.

Pour respecter les critères plus élevés en matière de sécurité et s'adapter aux nouveaux avions développés récemment, des infrastructures plus avancées et donc plus dispendieuses sont utilisées, ce qui par ailleurs a un effet discriminatoire dans le choix d'un aéroport pour l'achat de créneaux par les compagnies aériennes.

Avec les discussions sur les responsabilités financières entre les différents paliers de gouvernements et les investisseurs ainsi que les changements successifs et répétitifs des élus, les dénouements controversés dans les décisions et tous les faits d'actualité rapportés par les médias, il n'est pas surprenant de constater les nombreuses difficultés à redresser la situation.

Avant d'injecter des sommes importantes dans la construction ou la réparation de pistes, il faut considérer les priorités d'investissement. D'abord, on procède à une vérification financière qui permet de déterminer la source des écarts positifs ou négatifs dans le budget de l'aéroport tout en tenant compte de la situation économique afin d'apporter des mesures correctives. Lorsqu'un aéroport a besoin d'accroître sa capacité, la différence entre les recettes et les dépenses reliées à une piste supplémentaire permet d'afficher le niveau de

capital disponible. La recherche de financement pour la construction d'une infrastructure additionnelle nécessite l'élaboration d'un plan d'affaire. *Un plan d'affaire a pour but de préciser les besoins en matière d'infrastructure et les actions que l'aéroport doit mener tout au long de la mise en œuvre du plan pour atteindre ses objectifs stratégiques à long terme*[7].
Les objectifs sont identifiés par rapport au niveau et au coût des services ainsi que de la couverture des dépenses annexées. De plus, il est nécessaire d'étudier plusieurs autres variables pour renforcer l'analyse : les prévisions du trafic aérien, le taux de change, l'inflation, le PNB, le taux d'intérêt, le profil de la main-d'œuvre qualifiée, les limites sur les dépenses, les redevances de l'aéroport, les variations dans les salaires et les dépenses d'exploitation, les recettes ainsi que la marge de profit. Finalement, les composantes politiques, juridiques, économiques, sociales et techniques, ainsi que les impacts du développement régional et mondial sur l'aéroport, ne sont pas à négliger afin de rendre un rapport financier complet.

[7] Document 9082-OACI, *Airport Economics Manual*, pp. 3-6.

CHAPITRE II

DÉFINITION DES SERVICES D'INFRASTRUCTURE

Avant de poursuivre, il est indispensable de se familiariser avec ce domaine d'activité économique pour tenter de trouver des réponses aux interrogations et surtout pour ne pas tirer de conclusions hâtives sans connaître les enjeux. Chaque niveau comporte une multitude de détails et d'exceptions. Le fait de cheminer jusqu'à la tarification pratique de l'utilisation des services des aéroports oblige d'une certaine façon à définir les composantes de la structure de l'industrie aérienne pour arriver à une compréhension globale des fonctions de coûts à l'étude.

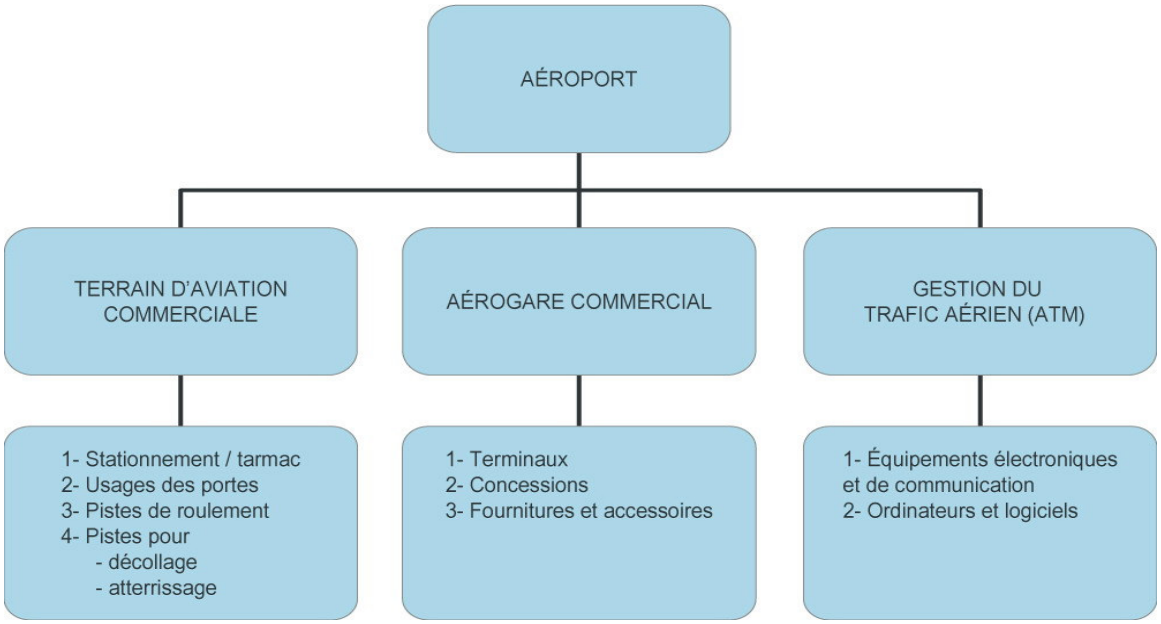
2.1 Service d'usage des aéroports

Un aéroport gère et administre l'ensemble des bâtiments et équipements nécessaires au trafic aérien. L'administration et la finance, l'exploitation des installations aéroportuaires, l'ingénierie, les travaux de construction et de maintenance, la commercialisation et les relations publiques, les services d'escale, les opérations aériennes et la sûreté, l'immigration, la santé et les douanes constituent les principaux départements d'un aéroport[8].

Vu la complexité du système des aéroports, sans établir la hiérarchie de pouvoir qu'il sous-tend, cet organigramme peut donner une image globale de son système de fonctionnement.

[8] Document 9082-OACI, *Airport Economics Manual*, pp. 2-18.

2.1.1 Organigramme de fonctionnement d'un aéroport



Source : Document 9082-OACI.

Les dépenses d'entretien et de construction sont introduites dans les coûts engendrés par le terrain d'aviation pour ses services de pistes. Le terrain d'aviation donne accès aux aéronefs et aux véhicules de surface (pompiers, sûreté...). Les dépenses d'exploitation et d'immobilisations du terrain d'aviation se remboursent sous forme de redevances (atterrissage, stationnement, service aux passagers, cargo, délais, kérosène, etc.) par les utilisateurs de l'aviation commerciale et générale. Le droit d'atterrissage constitue le sujet étudié dans cette recherche. L'aérogare commercial se rapporte aux terminaux et aux concessions. La gestion du trafic aérien (ATM) est offerte par l'aéroport et elle est facturée séparément dans les droits d'atterrissage. Un mode de tarification est propre à chaque département afin de maintenir l'activité commerciale. Les transporteurs et les compagnies de sous-traitance ajoutent aussi leur spécificité respective dans les calculs. La facturation devient complexe.

2.2 Service de navigation aérienne (SNA)

La Federal Aviation Administration (FAA-États-Unis), Navigation Canada (NAV CANADA) et EUROCONTROL (Europe) sont des organismes de réglementation qui appartiennent à l'État. Ces institutions de service de navigation aérienne ont longtemps préconisé la maximisation de la sécurité des mouvements et la minimisation des accidents d'avion au détriment du profit. Les objectifs sont récemment liés à la profitabilité. Ces organismes permettent de satisfaire la demande totale au meilleur prix alors que le tarif serait plus élevé si l'on dispersait les responsabilités. Ces trois institutions sont responsables de fournir les installations et les services de navigation aérienne civile aux aéronefs. La gestion de la circulation aérienne (ATM); la communication, navigation et surveillance (CNS); le service de météorologie pour la navigation aérienne (MET); la recherche et le sauvetage (SAR) ainsi que le service d'information aéronautique (AIS) constituent les principaux services de navigation. Tous ces services sont offerts dans leur espace aérien respectif ou pour lequel le pays concerné doit assurer le SNA[9].

Prenons le cas spécifique de NAV CANADA. C'est en mai 1995 que NAV CANADA est devenu une société à but non lucratif. Son objectif est d'assurer à ses clients un service de navigation aérienne sécuritaire, rapide et efficace. En novembre 1996, un transfert des responsabilités du réseau de service de navigation aérienne ainsi que de ses installations s'est conclu entre Transport Canada et NAV CANADA, en accord avec la *Civil Air Navigation Services Commercialization Act of 1996* [10], pour une valeur 1,5 milliard de dollars.

NAV CANADA est géré par une administration centrale nationale, deux bureaux régionaux, sept centres de contrôle régional (ACC), six centres d'informations de vol (FIC), 63 stations d'informations de vol (FSS), et 42 tours de contrôle. Chacun de ces établissements est responsable des coûts reliés à cette offre de services qui sont assignés dans quatre divisions :

---

[9] Guide des redevances à l'intention des clients, NAVCANADA, 1er septembre 2006.
[10] Canada, OACI *: Case Study*.

- Locale, commerciale et aviation générale (*Instrument Flight Rules*-IFR),
- Station d'information de vol (SIV) locale,
- En route, commercial et aviation générale IFR (*Instrument Flight Rules*),
- VFR (*Visual Flight Rules*) en route.

Par exemple, les tours de contrôle ont sous leur supervision les dépenses d'exploitation, l'équipement de surveillance des aéronefs, les systèmes d'atterrissage d'hyperfréquence et les coûts de remplacement des aides à la navigation. Les tours de contrôle facturent par la suite tous les services utilisés selon le système auquel les dirigeants de l'aéroport appartiennent. Finalement, les autorités aéroportuaires réacheminent les redevances aux compagnies aériennes et aux exploitants privés sous forme de trois types de tarifs :

- *Redevances océaniques* : pour l'utilisation des installations et des services, dont les communications internationales, lors d'un passage au-dessus d'un océan,

- *Redevances en route* : imposées dans chaque zone aérienne terrestre traversée, lors du vol ou survol entre les deux aéroports,

- *Redevances des services terminaux* : mises à la disposition des exploitants d'aéronefs dans le territoire aérien de l'aéroport (décollage et atterrissage).

La facturation d'une trajectoire comptabilise chacun des prix exigés par service de navigation aérienne (SNA). Les variables considérées dans les calculs des services sont la masse, la distance et un taux unitaire calculé sur la base du coût moyen tout comme la tarification des aéroports.

Une répartition incorrecte des infrastructures terrestres se répercute sur la distribution des corridors aériens. Donc, une mauvaise coordination des services aéroportuaires et aériens engendre des problèmes de congestion. De plus, certaines politiques de l'industrie aérienne

peuvent restreindre ou interdire certaines zones ou avantager les gros transporteurs. Par exemple, le ciel de la Russie, n'a été ouvert qu'au début des années 1990, permettant ainsi le choix pour la liaison London-Tokyo via la route Trans-Sibérienne avec 7464 milles ou par l'hémisphère Est, au Sud de la Russie, avec 9766 milles[11]. Plusieurs autres exceptions existent. Il y a aussi le cas de la United States AIRFORCE qui se réserve une grande partie de l'espace aérien par mesure de sécurité et non pour naviguer. Par conséquent, cette zone spécifique devient donc inutilisable pour les vols commerciaux ou privés. On retrouve aussi un ensemble de privilèges attribués entre aéroports ou encore entre pays[12] appelé « FREEDOM OF THE AIR » et l'entente des frères Wright. Ces différents facteurs réduisent donc la capacité. Cependant, la FAA travaille actuellement, en collaboration avec *Next Generation Air Transportation System*, pour contrer les difficultés technologiques reliées aux infrastructures du service de navigation aérienne afin d'accroître la capacité des aéroports sans en augmenter leur taille. Grâce aux avancées technologiques (RNP), les nouvelles performances des aéronefs en approche permettent d'augmenter l'espace aérien et de réduire leur dépendance aux tours de contrôle.

2.3 Systèmes : public, mixte et privé

Différentes formes de structure organisationnelle sont implantées dans les aéroports urbains. La période de dérèglementation de l'industrie aérienne a fait naître des cas d'exception ou de mode de fonctionnement très particulier. Il est à rappeler qu'au-delà de toute organisation aéroportuaire, la politique nationale d'un pays ainsi que les règlements internationaux de l'OACI exercent une influence dans les décisions à prendre par les propriétaires d'aéroports.

Dans un système public, le gouvernement est propriétaire des bâtisses et des terrains de l'aéroport, sinon il est locataire et paie un loyer au secteur privé. En majorité, les aéroports sont opérés par une autorité aéroportuaire. L'administration des infrastructures de l'aviation civile d'un pays peut aussi être sous la responsabilité de cette autorité. Le gouvernement a

[11] IATA Montréal, A. Brown, expert.
[12] http://www.icao.int/icao/en/trivia/freedoms_air.htm.

créé cette entité pour amener une gestion plus autonome au sein des aéroports et ainsi alléger le fardeau fiscal, tout en restant propriétaire. Dans certains cas, cette responsabilité a été partiellement transférée au secteur privé. Par ce jeu de transfert de pouvoir, l'État perd le contrôle de sa propriété. De plus, cette décentralisation disperse les responsabilités parmi plusieurs gestionnaires indépendants, ce qui peut devenir conflictuel. L'État a donc opté pour une association mixte en privatisant seulement les services du *Air Traffic Management* (ATM) de l'autorité aéroportuaire. L'aéroport institue ce département autonome avec des opérateurs qualifiés qui assurent un fonctionnement efficace. Les coûts de ce service sont directement facturés aux compagnies aériennes. Dans de rares cas, le gouvernement offre le service de ATM ; dans ce cas, il facture l'aéroport et, par la suite, celui-ci facture le service avec les redevances d'atterrissage perçues auprès des compagnies aériennes ou de l'aviation privée. Soulignons que la gestion du trafic aérien peut aussi être gérée par l'armée de l'air. C'est le cas au Brésil.

La structure organisationnelle mixte permet un partage des responsabilités financières ou du risque entre l'autorité publique et un ou plusieurs investisseurs privés, dans des proportions égales ou inégales. Par exemple, l'aéroport de Rome a vendu 56 % de ses parts à l'aéroport Alitalia, qui lui-même est privatisé à 30 %. De plus, Alitalia possède 15 % des parts de l'aéroport de Genoa, 10 % de Florence, 5 % de Naples et 1 % de Turin, (Doganis, 1992, p.13). C'est un enchevêtrement assez singulier. On retrouve la même dynamique du côté des pistes où des incohérences se produisent dans le transfert des facturations puisqu'elles peuvent passer aux mains d'un propriétaire plus d'une fois. Dans la ville de Vienne, un aménagement hiérarchique a aussi été institué pour mieux répartir le financement. Le pouvoir est divisé entre le gouvernement central, la basse Autriche et le conseil de ville dans des proportions respectives de 50 %, 25 % et 25 %. On peut aussi regrouper certains districts pour simplifier la bureaucratie.

Au Canada, l'évaluation des activités commerciales par Transport Canada a amené la création de la *National Airports Policy* (NAP) en juillet 1994. Les nouvelles politiques des aéroports nationaux clarifient l'implication du gouvernement et classent les aéroports selon le nombre de passagers. Sous la NAP, l'autorité aéroportuaire fixe les tâches spécifiques

destinées à un personnel qualifié pour implanter des projets (court, moyen et long termes) et surmonter les obstacles financiers qui peuvent survenir dans un département spécifique.

Le système fédéral canadien applique la péréquation pour équilibrer les surplus et les déficits entre les différents aéroports. Les profits générés par les aéroports congestionnés compensent les pertes encourues par les aéroports moins achalandés. Le but est de réduire ou d'éliminer les pertes totales en bien-être, autrement dit d'augmenter le surplus à gagner à la fois pour la collectivité et l'industrie aérienne, tout en maintenant des prix stables. La fixation du prix de base doit couvrir la charge des coûts. En situation de rendement optimal, cette technique est très efficace; mais présentement, on dénombre peu d'établissements efficients. Les aéroports canadiens se tournent donc vers d'autres intermédiaires pour s'autofinancer et rester concurrentiels à l'échelle mondiale. La privatisation semble être l'avenue la plus appropriée pour les aéroports qui reçoivent au moins un million de passagers par année. Un des avantages est que cette méthode de gestion est fixée sur de meilleures pratiques commerciales, ce qui favorise la transparence, l'efficacité et la rentabilité. De plus, l'application de ce système est basée sur des paramètres de performance, permettant ainsi d'améliorer la productivité et la qualité des services fournis.

Les États-Unis sont le chef de fil pour l'amélioration des modes de fonctionnement. On y retrouve un consortium d'agences gouvernementales comme propriétaires. La plus connue est la délégation de *Port Authority of New York & New Jersey* qui régit tous les modes de transports. De plus, on y trouve un agencement avant-gardiste pour les terminaux. Les concessions de l'aéroport sont vendues aux compagnies aériennes. Bien que les compagnies aériennes soient privées, la gestion des concessions reste publique du fait que l'aéroport est la propriété d'une autorité. Cette stratégie a permis de réduire le financement en capital du ou des propriétaire(s) et inciter d'autres aéroports à agir de la sorte. Le troisième terminal de Toronto est financé, entretenu et géré par un investisseur étranger. Le présent travail de recherche utilise les informations statistiques compilées par l'aéroport John F. Kennedy International et transmises par *Port Authority of New York & New Jersey*.

En Grande-Bretagne, le succès s'est opéré par la privatisation complète de la *British Airports Authority* (BAA) en 1987. Cette entité commerciale gère tous les niveaux de finances et facture ensuite les compagnies aériennes. En 1992, on affirmait que ce type de structure se propageait dans le monde entier depuis quinze ans (Doganis, 1992, p. 13). La Thaïlande, Israël, le Mexique et l'Irlande ont opté pour cette stratégie organisationnelle pour cheminer vers le privé. L'État intervient seulement pour des raisons politiques ou en situation de crise.

Dans les faits, la majorité des autorités publiques préfère restreindre la privatisation complète aux clubs d'aviation et à quelques petits exploitants d'aéroport de l'aviation générale afin de conserver son pouvoir financier. On remarque cependant une augmentation significative des activités économiques de l'aviation générale ou privée comparé à l'aviation commerciale, qui elle, est en déclin. Du côté des États-Unis, une hausse de 60 % a été enregistrée pour les propriétaires d'avion de type privé. Les aéroports publics devront-ils réaménagé leur espace d'accueil afin de mieux répondre aux besoins spécifiques de ce segment de la demande aérienne ?

2.4 L'ingénierie en aéronautique

Levine (1969) fait figure de précurseur dans l'identification de facteurs qui sont responsables de l'inefficacité économique de la tarification de l'usage des services des aéroports et du contrôle aérien. Il conclut que la tarification est établie depuis trop longtemps et qu'une révision des principes économiques appliqués s'avère nécessaire. En plus, il s'agit d'une application inefficace du droit d'atterrissage causée par une mauvaise représentation des coûts réels engendrés par les usagers de l'aviation. Par conséquent, on assiste à des pénuries générales, une concentration excessive de trafic aux heures de pointe et une utilisation inadéquate des ressources en termes de main-d'œuvre, de carburant et de temps.

Pour faire face à cette réalité, cet auteur affirme pouvoir accroître l'efficacité de l'industrie aéronautique en révisant entièrement les coûts reliés à l'utilisation des infrastructures aériennes. Levine (1969) suggère la création d'une redevance à l'usure de la

piste basée sur ce qu'il appelle *equivalent single wheel load* et de facturer ce coût variable à l'exploitant de l'aéronef. Bref, une méthode qui tarifie plus en fonction de l'empreinte de pression du train d'atterrissage que du poids total de l'avion. Selon Levine (1969), c'est une version améliorée du système de redevance courant par l'instauration d'un compromis d'ingénierie entre les coûts optimaux des aéronefs et des pistes. Levine (1969) recommande fortement un système de tarification qui récompense ceux qui exploitent les pistes dans de meilleures conditions techniques, ainsi que l'adoption d'une tarification efficace pour les pistes d'aéroport selon les heures creuses et de pointe.

Une parenthèse sur l'aspect technique des mouvements des aéronefs est intéressante pour mieux interpréter l'aspect économique. Il est évident qu'elle ne représente qu'un faible pourcentage de toutes les informations existant à ce jour sur l'ingénierie des pistes et des avions. Cependant, elle soulève tout de même des points intéressants. Elle donne aussi des indices révélateurs pour la mise en œuvre d'une tarification plus équitable entre l'aviation commerciale et privée. Les économistes pourraient donc établir une tarification plus juste de l'usage des services aériens et aéroportuaires.

Une visite[13] que nous avons effectuée à l'usine d'assemblage de Bombardier a permis de mieux cerner l'importance des différences d'ingénierie entre les modèles d'aéronefs. L'assistance des ingénieurs en avionnerie a permis d'expliquer l'implication du poids d'un aéronef. L'ajout de capacité en kérosène, en respectant les limites de poids, a pour effet d'éliminer des sièges disponibles pour les passagers, ce qui n'est pas sans effet dans les calculs de tarifications de l'usage des services aéroportuaires, basés sur le poids, et des services de contrôle aérien qui tarifent en fonction de la distance et du poids.

[13] À Montréal, à l'automne 2009.

2.4.1 Les aéronefs

À partir des trois classes d'avion, *Wide Body Jet*, *Narrow Body Jet* et *Regional jet*, trois types d'aéronefs ont été sélectionnés selon leurs critères de performances afin de réduire la quantité d'information transmise dans ce mémoire.

2.4.1.1 Critères de performance des aéronefs à l'étude

Aircraft	Capacité (passagers)	MTOW	Longueur	Hauteur	Envergure des ailes	Distance de piste au décollage	Vitesse de croisière à 35000 ft	Maximum speed	Capacité carburant	Équipage	Plafond	Moteurs	Largeur de la cabine
mesure	unité	livre	mètre	mètre	mètre	mètre			litre	unité	mètre	unité	mètre
BOEING 747-400	467	910 000	70,6	19,4	64,9	3018	912 km/h	988 km/h	216840	2	—	—	—
BOEING 767-300/ER	220	412 866	54,9	5,41	47,6	2410	851 km/h	913 km/h	—	2	—	—	—
A300-600/R/CF/RCF	266	372 860	54,08	16,62	44,85	2324	829 km/h	871 km/h	68150	2	—	2	5,28
BOEING 757-200	160	257 235	47,32	13,56	38,05	2911	850 km/h	—	43490	2	12800	4	3,54
AIRBUS 320-100/200	164	171 958	37,57	11,76	34,10	2090	Mach 0,78	Mach 0,82	29680	2	12000	4	3,70
MD-80,1,2,3,7,8	141	148 083	45,1	9,05	32,8	—	811 km/h	—	—	—	—	—	—
EMBRAER 170	80	82 012	30	10	26	2044	—	890 km/h	—	2	12500	—	3
CANADAIR RJ-100/ER	50	53 000	28	6	21	—	Mach 0,78	—	44 000	3	12496	—	—
EMBRAER-135	37	44 092	28,45	6,76	20,04	—	—	834 km/h	—	3	11278	1	—

Source : *Port Authority of New York & New Jersey*.

Les caractéristiques distinctes de chacun des avions soulèvent d'autres facteurs importants :

- L'envergure des ailes influe sur la capacité disponible des aires de stationnement et sur le rayon requis des pistes d'accès,
- La vitesse d'approche peut engendrer des délais pour les autres utilisateurs,
- On s'attend à utiliser moins de temps des contrôleurs aériens pour un avion dont sa vitesse de croisière est supérieure à celle d'un autre,
- Une plus petite distance requise au décollage et à l'atterrissage engendre une moindre usure de la piste en terme de longueur,

- Deux avions, A et B avec des caractéristiques techniques identiques, mais dotés de charges de carburants différentes telles que $C_A > C_B$, A nécessite davantage de longueur de piste pour décoller,
- L'impact de la vitesse requise au décollage fait varier les coûts de l'usure de la piste.

2.4.2 L'impact d'un aéronef sur l'usure de la piste

Les dommages causés à l'infrastructure au sol par les avions sont généralement établis en fonction de la durée de vie utile des installations, de la date de construction, de la texture, de la résistance et de l'épaisseur de la piste ainsi que du coefficient de friction de la chaussée. Le degré de responsabilité d'un aéronef est attribué selon le nombre d'opérations, la configuration du train d'atterrissage, le poids, l'effet de friction et l'empreinte de pression laissée par le train d'atterrissage lorsque les pneus touchent le sol. Toutes ces variables font aussi intervenir d'autres aspects.

Le train d'atterrissage affecte directement la piste. Il permet les évolutions au sol jusqu'au décollage (remorquage, taxi…), l'amortissement de l'impact à l'atterrissage et, grâce à un système de freinage associé, arrêt de l'avion sur une distance acceptable. La géométrie (voie et empattement en cm), le nombre de roues par atterrisseur, la charge à la roue (tonne par roue) et la pression des pneumatiques déterminent la configuration du train d'atterrissage. Avec le poids des appareils qui ne cesse d'augmenter, le nombre de trains d'atterrissage et de roues a dû être ajusté. Le Boeing 747 possède en tout cinq trains d'atterrissage ou 16 roues. Quant à l'Airbus 380, il possède en tout 22 roues[14]. Le but principal des modifications techniques est une diminution de pression par répartition du poids en plusieurs points sur la piste, ce qui a pour conséquence d'amortir la percussion et de réduire les dommages.

Les chocs d'atterrissage engendrent non seulement des dommages aux pistes, mais aussi aux structures des avions, ce qui, indirectement, lie les deux partenaires d'affaire dans leur désir d'améliorer les conditions dans lesquelles ils opèrent.

[14] http://fr.wikipedia.org/wiki/Train_d'atterrissage#Diff.C3.A9rents_types_de_trains_d.27atterrissage.

Actuellement, au Canada, les coûts pour les aéroports associés aux chaussées aéronautiques sont calculés au pied et en fonction des pressions exercées par les opérations des aéronefs. C'est à partir de la masse de l'engin et de la pression des pneus que Transport Canada évalue la résistance et la capacité d'une surface de roulement (pistes, voies de circulation et aires de trafic) à accueillir continuellement des aéronefs. L'AIP[15] (publication d'information aéronautique) ainsi que le TP 2162E/AK-67-09-140[16] et le TP 2162[17] constituent les documents de référence. Par conséquent, on peut conclure que les dirigeants aéroportuaires sont déjà au courant des variables qui affectent le niveau technique des infrastructures.

Cependant, la réalité est beaucoup plus complexe. D'autres facteurs opérationnels de l'aéronef sont omis. Les différences techniques d'un décollage et d'un atterrissage pourraient être prises en compte.

Les forces aérodynamiques conçues pour offrir peu de résistance à l'air d'un Airbus en atterrissage ont un effet de déstabilisation sur un Cessna qui le suit, à cause des turbulences de sillage. Au cours d'une journée, la répétition de ce mouvement engendre une augmentation du temps de délai sur les autres. Ce phénomène génère de la congestion. L'impact financier devient important en terme de coût de délais puisque la valeur monétaire imposée fluctue suivant les périodes creuses et de pointe. Inévitablement, les délais agissent comme un frein sur la croissance de l'industrie et de la nation.

Ensuite, la longueur de piste utilisée pour décoller est directement liée avec la capacité d'accélération de l'avion. Donc, le poids total de l'aéronef est le principal facteur d'influence. C'est la charge de kérosène requise à bord pour transporter une charge utile telle que les passagers ou les cargaisons qui détermine « la mission ». Plus l'appareil est lourd, plus la vitesse nécessaire au décollage et le temps requis pour atteindre cette vitesse sont élevés. Par conséquent, la longueur de piste requise est plus grande. Cependant, on attribue

---

[15] A.I.P. Canada, TP2300F, Transport Canada Sécurité et sûreté p. AGA 3-3.
[16] Informe sur l'indice de résistance de chaussée (PLR), la classification des chaussées (PCN), la pression des pneus, l'indice de masse d'aéronefs (ALR) et la classification des aéronefs (ACN).
[17] Fournit les tableaux de charge de la chaussée des aéroports de Transport Canada.

toujours une longueur de piste suffisante et sécuritaire, ce qui engendre des délais variables pour les avions en attente.

Finalement, il n'existe aucune entente universelle pour le choix de la masse à utiliser dans les calculs de tarification des services aéronautiques. C'est à la discrétion de chacun des aéroports de choisir la masse à l'atterrissage ou au décollage. Cette masse maximale correspond à ce qui est légalement exigé (avec le kérosène) et qui doit être respecté par tous. On remarque donc des disparités en termes de masse dans le calcul de la tarification. En ce qui concerne les unités de mesure, elles peuvent différer selon le lieu. Cette situation oblige donc à être plus vigilants dans les évaluations des résultats.

2.4.3 La piste

L'influence de la piste sur la tarification est peu développée et exploitée, même si elle est considérable. Dans cette partie, les autres facteurs qui perturbent la structure et la disposition de la piste (et les aires de roulement) sont énumérés et du fait même, distingués les uns des autres.

Un des paramètres majeurs est la météorologie aéronautique. D'où l'importance de l'emplacement géographique, car il détermine un certain climat. La météorologie aéronautique est donc prépondérante dans l'évaluation des coûts. Plusieurs conditions influencent l'environnement économique :

- L'hiver — ou lors de périodes de froid intense — un phénomène de gel et de dégel se produit. On voit aussi une augmentation du temps d'entretien (déblayage, dégivrage...),
- Les ingénieurs respectent des normes spécifiques pour la construction d'une piste, en fonction des saisons,
- La température influence la résistance du revêtement, la performance de la structure et les conditions en général,

- Les vents de face et de travers sont en partie responsables de la variation du temps de délais (section 1.2),
- Les procédures des pilotes pour effectuer un décollage ou un atterrissage ne sont pas les mêmes en temps ensoleillé, nuageux, pluvieux ou enneigé (section 1.1),
- La qualité de l'atterrissage peut varier selon la maniabilité ou l'expérience du pilote.

De plus, le système de redevance devrait considérer le nombre de pistes, la grandeur, l'organisation, la configuration (linéaire, jeté, darse ou soleil), la disposition (parallèle ou croisée), le mode (atterrissage et décollage ou en interdépendance) et la capacité des pistes qui décrivent la situation d'un terrain d'aviation.

Il faut préciser qu'une piste parallèle prend en considération les contraintes de turbulences de sillage. Elle permet aussi de réduire le temps de circulation au sol et ainsi d'accroître la capacité de la piste. Ce sont tous des facteurs qui affectent aussi la distribution des ressources rares. Ces caractéristiques spécifiques influencent les investisseurs dans leur décision de construire une nouvelle piste pour un aéroport congestionné.

Pour mieux conceptualiser les aspects techniques décrits ci-dessus, le tableau suivant de l'aéroport John F. Kennedy Intl affiche le nombre et les caractéristiques des pistes. Ces facteurs ne sont pas des variables directement considérées dans la fonction de coût décrite au chapitre 4.

2.4.3.1 Caractéristiques de John F. Kennedy International

Runway Data				
Runway Ident	**04L/ 22R**	**04R/ 22L**	**13L/ 31R**	**13R/ 31L**
Length (feet)	11,351	8,400	10,000	14,572
Width	150	200	150	150
Take Off Run Avbl. (TORA)	11,351/11,351	8,400/8,400	10,000/10,000	14,572/14,572
Take Off Dist. Avbl. (TODA)	11,351/11,351	8,400/8,400	10,000/10,000	14,572/14,572
Actl. Stop Dist. Avbl. (ASDA)	11,351/11,351	8,400/8,400	10,000/10,000	14,572/14,572
Lndg. Dist. Avbl. (LDA)	11,351/8,655	8,400/8,400	9,095/8,976	11,966/11,248

Source : http://www.gcr1.com/5010web/airport.cfm?Site=JFK.

En principe, l'aéroport JFK Intl a quatre pistes en fonction. Cependant, sa capacité offerte peut être réduite, car la température ou la direction du vent peut engendrer la fermeture d'une ou de plusieurs d'entre elles. Ce sont surtout les avions à faible masse ou avec un train d'atterrissage à voie étroite qui sont pénalisés, dû aux manœuvres plus difficiles en présence d'un vent perpendiculaire à la piste. On remarque dans le tableau, que la longueur, l'épaisseur et les surfaces des quatre pistes disponibles (Avbl.) sont différentes. Donc, en principe, les coûts reliés à l'utilisation devraient aussi varier selon les besoins d'un aéronef-type. Ce ne sont pas tous les avions qui utilisent la longueur de piste à pleine capacité.

De plus, il faut mentionner qu'il n'y a pas d'incitatif financier dans la justification du choix d'une piste. On peut facilement comprendre les pilotes qui, en tout temps, préfèrent les pistes plus longues pour effectuer leurs manœuvres. Les opérateurs d'aéroport ne s'efforcent pas non plus d'attribuer une piste selon la distance de décollage nécessaire à un utilisateur puisque la tarification de l'usage des pistes est calculée selon le poids des aéronefs.

Les besoins de l'industrie aérienne doivent être coordonnés avec la capacité disponible du marché afin d'atteindre des objectifs économiques de rentabilité et d'efficacité. Les principes d'efficacité se basent sur une meilleure répartition des coûts entre l'offreur et le demandeur. Les opérateurs d'aéroports devraient avoir la responsabilité de la performance de leur terrain d'aviation en améliorant le ratio *thrust-to-weight*, alors que les exploitants devraient maximiser la diminution de la détérioration des pistes.

Évidemment, la structure des coûts est plus simple pour le service de navigation aérienne que pour l'usage des pistes et des tarmacs mais chacun a des coûts fixes de capital et de main-d'œuvre.

Le site internet de l'aéroport JFK Intl est fort utile pour mieux comprendre le type de statistiques exploitées. Le tableau suivant présente de manière globale les chiffres réels d'opération pour l'ensemble des pistes à l'aéroport John F. Kennedy International en 2007.

2.4.3.2 Opérations totales annuelles (décollage et atterrissage) – JFK Intl

AIR CARRIER	**356 364**
AIR TAXI	**93 508**
G A LOCAL	**0**
G A ITNRNT	**6741**
MILITARY	**222**
TOTAL	**481 349**
ULTRA-LIGHT	**0**
OPS FOR 12 MOS ENDING	**12/31/2007**

Source : http://www.gcr1.com/5010web/airport.cfm?Site=JFK.

Lors d'une conversation téléphonique, M. Scala, professeur associé du département d'aviation de *Farmingdale College* dans l'État de New York, explique les termes en italiques du tableau. Dès le départ, il apporte un bémol aux types d'opérations qui sont inclus dans un groupe, parce qu'elles ne sont pas mutuellement exclusives. Par exemple, dans Air Carrier, on y souscrit parfois le secteur militaire, alors qu'il existe une subdivision (***Military***).

Air Carrier se rapporte aux avions de ligne (Airbus, Boeing, etc.) qui effectuent des activités commerciales. Ils sont placés sous la certification *FAR. PART 121*, c'est-à-dire les opérations de demandes programmées par les compagnies aériennes et le secteur militaire. Tandis qu'*Air taxi* opère sous *FAR. PART 135*, soit les opérations de demandes non programmées des jets régionaux (Bombardier, Embraer, etc.) de 60 places maximales à catégorie domestique. Ensuite, *G A Local* correspond à l'aviation générale (privée et récréative). On y associe les avions de type *Piper*, *Cessna* et *Twin Jet* pour des vols aller-retour d'une distance de 30 miles au plus de l'aéroport JFK Intl. Les vols itinérants de l'aviation générale, domestiques ou internationaux appartiennent à *G A ITNRNT* et se définissent par des atterrissages d'avions en provenance de n'importe quel endroit. Par contre, l'aviation générale de JFK Intl opère plus particulièrement dans le marché domestique. De plus, une autre constatation peut déjà s'établir : il n'existe pas de distinctions, au niveau des vols, entre ceux domestiques et internationaux sous *Air Carrier* dans les aéroports qui desservent les deux marchés. L'aéroport John F. Kennedy opère faiblement à l'international.

Par contre, ces données sont trop agrégées pour les objectifs de cette étude. Le chapitre 4 dévoile les statistiques sous un angle plus microéconomique. Mais auparavant, voyons la revue de la littérature sur Ramsey qui fait l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE III

LA LITTÉRATURE ÉCONOMIQUE

L'étude de la tarification de la redevance d'atterrissage soulève certaines questions fondamentales. Comment sont fixés les droits d'atterrissages ou qu'est-ce qui constitue la fonction de coût à l'origine du taux de tarification ? À quelle formule devrait-on recourir pour déterminer la redevance d'atterrissage à facturer aux différents modèles d'avion ? Comment peut-on arriver à un partage équitable des coûts de l'usure des pistes entre les différents partenaires ? La réponse à ces questions n'est pas simple.

La tarification des infrastructures par l'imposition d'un droit d'atterrissage calculé sur la base des coûts fixes et variables d'un aéroport permet de couvrir les dépenses engendrées par l'offre des services d'usage des aéroports. On remarque cependant que les coûts de long terme (fixes) causent problème. De plus, il n'est pas évident d'assurer une répartition adéquate des coûts communs entre les différents transporteurs ainsi qu'entre les transporteurs et l'aéroport. Il ne serait pas logique de constater que de petits avions subventionnent les mouvements des plus gros aéronefs. Les joueurs impliqués n'ont pas tous la même perspective financière. L'asymétrie d'information incite donc la fixation de règles en matière de partage de coûts. Ces problèmes de partage se posent avec de plus en plus d'acuité, car les règles de partage sont des facteurs de plus en plus importants de compétitivité et de performance.

Plusieurs approches sont proposées pour instaurer une tarification efficace, telle que la méthode du nucléole (Boyer, Moreaux et Truchon, 2002) ou la règle de Ramsey (1927). Ce mémoire se limite au concept du prix optimal Ramsey puisqu'il représente un pilier dans de nombreux projets en économie. Le chapitre en cours démontre l'évolution de la théorie Ramsey, suivie d'une application théorique du *Second Best* (Ramsey, 1927) qui permet de mieux maximiser l'efficacité économique développée par Martin Cejas et Roberto Rendeiro

(1997), inspirée par Morisson (1982) et DeVany (1974)[18]. Une critique des différentes méthodes de tarification vient aussi renforcer le point de vue de Cejas et Rendeiro (1997). Finalement, le chapitre 5 évalue empiriquement l'équation Ramsey pour l'usage des services aéronautiques en référence aux données exploitées dans le chapitre 4 sur l'aéroport JFK Intl.

3.1 L'évolution de la règle de Ramsey

C'est à Cambridge, en 1927, que le philosophe et mathématicien Frank Plumpton Ramsey[19] introduit le concept de détermination d'une règle pour fixer un prix optimal, sous la forme d'une taxe de revenu contrainte aux exigences du gouvernement. Ramsey maximise le prix sous une hypothèse d'un équilibre structurel partiel et d'une économie parfaitement compétitive. Il est le premier à démontrer que la perte de surplus serait minimisée si l'on tarifait de manière inversement proportionnelle à l'élasticité-prix respective des demandes indépendantes des produits. En d'autres mots, c'est une tarification égale au pourcentage de la majoration au-dessus du coût marginal. Ce principe est applicable dans plusieurs sphères économiques. La règle de Ramsey (1927) permet à la fois de couvrir les coûts avec un minimum de distorsion et de résoudre les problèmes d'allocation des ressources, du recouvrement des coûts d'investissement et des effets de la réglementation dans le transport où il n'y pas des coûts d'externalités. La théorie du prix Ramsey a inspiré plusieurs auteurs depuis ce temps. Certains procèderont à sa mise à jour.

En 1956, le physicien Boiteux (1956) découvre le même fondement, sans toutefois connaître Ramsey. Les économistes appellent donc souvent « Ramsey-Boiteux » ce modèle servant à équilibrer le budget. D'autres chercheurs ont apporté leurs contributions.

Lipsey et Lancaster (1956) insistent d'abord sur le besoin de calculer la tarification à l'intérieur d'une structure d'équilibre général. Baumol et Bradford (1970) viendront clarifier la règle Ramsey avec la théorie du bien-être, de la réglementation et des finances publiques.

---

18 L'importance de son ouvrage porte sur les calculs des élasticités-prix et temps propres à l'aviation.

19 Mort dans un accident d'automobile en 1930 et frère de Michael Ramsey, l'archevêque de Canterbury de 1961-1974.

De plus, ils établissent que le prix Ramsey quasi-optimal doit être fixé de façon à ce que les quantités partagées restent inchangées par rapport à celles qui prédominent sous le coût marginal. Plus tard, Sandmo (1975) l'extrapole, dans un contexte de finances publiques, caractérisé d'un bien simple avec des demandes indépendantes pour une production avec des coûts d'externalités. Un autre pas est franchi quand Braeutigam (1979) extensionne l'application de la règle de Ramsey dans un cadre où des firmes multiples rivalisent dans un même marché avec des produits différents ainsi qu'à des situations d'économie d'échelle. Baumol, Panzar et Willig (1982) poursuivent l'expérience en appliquant une économie d'échelle pour toutes les firmes qui exploitent un produit homogène, viable sous un prix Ramsey optimal. L'expérience est complétée par Braeutigam (1984) en incluant des produits différenciés (substituts imparfaits les un aux autres). Finalement, d'autres économistes comme Friedlaender (1981), Winston (1981), Damus (1984), Taplin et Waters II (1985) ont apporté d'autres changements significatifs à son évolution.

L'étendue de ces travaux a permis d'analyser et de régler plusieurs problèmes économiques dans les finances publiques. Par contre, très peu d'auteurs ce sont intéressés à l'application du prix Ramsey dans une éventualité où le coût marginal social dévie de son coût marginal privé en présence de coûts d'externalités dans le cadre d'une offre à biens multiples pour des demandes interdépendantes.

En économie de l'aviation, les chercheurs adaptent les variables concernées par l'expression du prix Ramsey :

- Le coût de la capacité,
- Le total des coûts d'opération de vol,
- La part des droits d'atterrissage dans les redevances aéronautiques,
- La demande du transport aérien (passagers et cargo),
- Élasticité-prix de la demande de passagers pour le transport aérien,
- Élasticité-prix de la demande pour les mouvements totaux d'aéronefs.

L'élasticité-prix est définie par le rapport de la variation en pourcentage de la quantité demandée d'un bien sur la variation en pourcentage du prix. Quand la valeur numérique est égale à zéro, la quantité demandée reste constante, quel que soit le prix. Le terme associé est «parfaitement inélastique». Dans l'intervalle] 0;1 [, la diminution (l'augmentation) en pourcentage de la quantité demandée est inférieure à la hausse (baisse) en pourcentage du prix. L'expression qui est utilisée est «inélastique». « Élastique » est défini par une élasticité supérieure à 1 mais non infinie, la diminution (l'augmentation) en pourcentage de la quantité demandée est supérieure à la hausse (baisse) en pourcentage du prix[20].

Au niveau du transport aérien, Oum, Tretheway et Gillen (1988) tentent d'incorporer les coûts d'externalités, les demandes interdépendantes et les déficits au modèle Ramsey de base. L'article de Morrison (1982) se centre sur une expression Ramsey sans externalité dans un contexte nord-américain alors que Cejas et Rendeiro (1997) reprennent l'essentiel de Morrison (1982) mais exploitent un cadre européen.

3.2 Cejas-Rendeiro et Morisson

L'étude de Cejas-Rendeiro (1997) se penche sur les différentes méthodes de calcul pour déterminer la structure économique des redevances d'aéroport et souligne les inconvénients majeurs. Cejas-Rendeiro (1997) et Morisson (1982) déclarent qu'un prix Ramsey ou *Second Best* est plus approprié pour récupérer, avec un minimum de distorsion dans l'allocation des ressources, les coûts engendrés par les utilisateurs d'infrastructures aériennes.

3.2.1 Coût moyen ou méthode traditionnelle en vigueur

L'OACI recommande la fixation d'un prix au coût moyen en raison de sa facilité d'application. Les 168 pays membres de l'IATA l'ont adoptée pour la simplicité de la variable « poids de l'aéronef » utilisée dans les calculs. Les compagnies aériennes sont aussi

[20] Ces informations sont tirées du manuel du cours *Analyse économique*.

en accord avec cette méthode, car elle est raisonnable et objective. Mais en contraste, elles s'opposent à la procédure des aéroports qui les taxent directement pour les coûts des passagers. Les utilisateurs invoquent une augmentation de leurs frais de gestion qu'ils doivent absorber ou les transférer aux passagers qui, eux, écoperont en payant plus cher.

Une structure complète (atterrissage ou décollage, stationnement et hangar, service aux passagers, cargo, sécurité, bruit, pollution, délais, kérosène, utilisation des autobus, ponts et salon mobile) de la tarification représente les revenus totaux des aéroports du côté piste[21]. Les services fournis sont sous différents termes financiers et ont des caractéristiques opérationnelles multiples. Les trois principales redevances sont la redevance d'atterrissage, le tarif moyen pour les passagers et le coût moyen d'un aéronef pour l'aéroport.

3.2.1.1 La redevance d'atterrissage

On divise les coûts totaux encourus pour la zone d'atterrissage (entretien des pistes, service de pompiers, sûreté, utilisation d'équipement de contrôle…) par le nombre de tonnes des avions qui utilisent le service :

$$\text{Droits d'atterrissage} = \frac{\text{Coûts totaux en zone d'atterrissage}}{\text{Nombre de tonnes}}$$

Par contre, en théorie, ce sont les coûts totaux de l'aéroport divisés par le poids total en livres des aéronefs. Le chapitre suivant détaille davantage le calcul de la redevance d'atterrissage.

[21] *Airport Economics Manual*, OACI, section 3.

3.2.1.2 Le tarif moyen pour les passagers (ou redevance de passagers)

Le tarif moyen pour les passagers se calcule comme suit :

$$\text{Tarif moyen au passager} = \frac{\text{Coûts totaux, terminaux}}{\text{Nombre de passagers}}$$

La redevance de passagers distingue le vol domestique du vol international puisque celui-ci est plus dispendieux dans ses besoins d'installation et de confort pour les passagers. Cependant, l'étude actuelle se limite à la tarification des décollages basée sur le coût global des opérations de la chaussée aéronautique facturée aux utilisateurs des services aéroportuaires.

Généralement, la capacité reçue du côté piste soutient la capacité du terminal. Sinon, un déséquilibre d'accueil peut nécessiter de l'investissement.

3.2.1.3 Le coût moyen d'un aéronef pour l'aéroport

Pour calculer les coûts moyens d'un aéronef, on divise les coûts totaux d'un aéroport par le nombre de mouvements des aéronefs :

$$\text{Coût moyen d'un aéronef pour l'aéroport} = \frac{\text{Coûts totaux, aéroports}}{\text{Mouvements aéronefs}}$$

Selon Cejas-Rendeiro (1997), un calcul au coût moyen fait abstraction d'hypothèses non négligeables. On considère une absence de coût commun et de rendement d'échelle, ainsi qu'une facturation de prix unique entre utilisateurs, pour permettre une couverture et non pas une réduction des coûts afin de maximiser les profits et accroître l'efficacité économique.

Donc, l'utilisation du coût moyen et des redevances associées au poids ont pour conséquence de demander un prix qui ne reflète pas le coût réel des ressources nécessaires et empêche de bien cerner les besoins futurs de capacités. Un prix moyen ne couvre que faiblement les coûts et le financement de l'infrastructure. Cette méthode de calcul a pour effet d'entraîner une pauvre utilisation des ressources et un surinvestissement dans les installations aéroportuaires.

Cejas-Rendeiro (1997) considèrent que le calcul au coût moyen va dans le sens contraire d'une réduction de la congestion aérienne. Lorsqu'un aéroport est congestionné, l'accès aux pistes devient moins dispendieux mais les coûts reliés aux délais sont plus élevés. Il y a décroissance du coût moyen des infrastructures aériennes puisque les nombreux utilisateurs imposent des coûts différents. Des tarifs distincts selon les exigences de chacun, et non seulement selon le poids, seraient mieux adaptés. En effet, les périodes de pointe engendrent des coûts plus élevés en terme de capacité, comparativement aux périodes creuses.

Rappelons qu'un tarif moyen peut engendrer une utilisation inefficace des ressources disponibles. Supposons qu'en période de pointe, le tarif est plus bas que le coût réel, car il y a des externalités négatives telles que la congestion ou la pollution et que le contraire se produise en période creuse, alors le tarif sera supérieur en période peu achalandée. Les compagnies aériennes auront peu d'incitatif à opérer en période creuse, car le tarif est moins cher en période de pointe. Les conséquences de ce comportement résultent en une augmentation de la congestion. Ensuite, un aéroport qui opère au-delà de sa capacité maximale devra nécessairement investir dans ses installations. Donc, le revenu final généré représentera une sous-utilisation journalière de sa capacité. Au lieu de facturer plus pour une allocation efficace des ressources, il y aura une augmentation des coûts moyens de la période.

Morisson (1982) affirme que les gouvernements ont fait fausse route dans leurs politiques d'infrastructure en concentrant leurs intérêts sur la croissance du trafic via l'expansion de la capacité (construction de nouvelles pistes) sans gérer en parallèle la demande sans cesse croissante par l'intermédiaire d'un système de prix efficace. Plusieurs économistes optent

pour une tarification au coût marginal ou une fixation des prix à la Ramsey des services des aéroports et du service de navigation aérienne.

3.2.2 Coût marginal et tarification en période de pointe

La tarification traditionnelle démontre une incapacité à maximiser de façon efficace l'utilisation des infrastructures en place. D'autres mécanismes et critères de répartition des coûts des ressources entre les modes de transport et les catégories d'usagers s'avèrent nécessaires dans le secteur du transport des voyageurs et des marchandises qui partagent les mêmes véhicules et infrastructures.

Dans le cadre de cette recherche, le prix du *First Best* (Cm) se définit par la variation du coût total (ΔCT) de l'aéroport ou du terrain d'aviation lorsque le nombre total de mouvements d'aéronefs ou de passagers (horaire, mensuel ou annuel) augmente d'une unité de plus (ΔPT)[22]. La représentation mathématique est : $\frac{\Delta CT}{\Delta PT}$. En théorie, une allocation optimale se définit par un prix où ni les vendeurs ni les acheteurs n'ont la capacité d'y introduire un écart. Ce principe résout le problème d'inefficacité de la production et de la consommation qu'on associe à la fixation du prix au coût moyen. Il contribue à la maximisation de l'efficacité du bien-être social en absence d'externalité. Si le niveau de financement est fixé par un prix sous le coût marginal, il y aurait propension au gaspillage des ressources alors que l'action inverse engendre une sous-utilisation. Ces situations peuvent fausser les évaluations et influencer négativement les décisions en investissement.

Cejas-Rendeiro (1997) critiquent l'emploi du coût marginal (Cm), car l'utilisation des coûts actuels, futurs et non comptables empêche une application adéquate. La déficience de revenus ne permet pas de couvrir la totalité des coûts encourus, particulièrement ceux pour l'amortissement et l'intérêt. En plus, s'ajoute la nécessité d'imposer une contrainte lorsque la demande est supérieure à la capacité afin que le prix facturé, en période de pointe, recouvre

[22] Note de cours. Professeure Afifa, *Analyse économique*, automne 2002.

les coûts. La tarification cible les utilisateurs en présence d'externalités, telles que la congestion (haute saison). Les usagers paient un tarif plus élevé. Si la demande des compagnies aériennes pour les services aéroportuaires et de navigation aérienne était inférieure à la capacité, on assisterait à des pertes financières en période de faible et forte densité de trafic.

Cejas-Rendeiro (1997) soutiennent que ce système de prix est difficilement applicable pour atteindre un rendement optimal puisqu'une impasse persiste pour la transition du court au long terme. On définit le court terme par les fluctuations de la demande (augmentation du personnel). Cependant l'industrie aérienne préconise le long terme puisqu'il inclut les coûts d'investissement dans des installations supplémentaires afin de répondre à une augmentation du trafic aérien. Ce n'est que lorsque les coûts marginaux à long terme augmentent et dépassent les coûts moyens que les recettes sont normalement supérieures aux coûts totaux actuels[23].

Cejas-Rendeiro (1997) distinguent le calcul basé sur le coût moyen et marginal. Sous la condition de rendement d'échelle constant, les coûts moyen et marginal sont identiques. Néanmoins, quand le coût unitaire varie, le rendement d'échelle est croissant ou décroissant. Quand la fixation au prix moyen ou marginal produit des résultats différents, le coût marginal est préféré. Si les frais diminuent, le coût marginal résulte en déficit. Comme c'est le cas pour les aéroports, avec une augmentation du trafic, le coût moyen diminue. Si ce déficit devient inacceptable pour une période donnée, il peut être ajusté par une subvention jusqu'au point de solvabilité. Sinon, un prix *Second Best* est nécessaire. Cejas-Rendeiro (1997) s'attardent au prix Ramsey en raison du fait qu'il établit une majoration des prix légèrement supérieure au coût marginal basée sur la volonté de payer des utilisateurs.

---

[23] « Tarification au coût marginal ». *Conférence sur l'économie des aéroports et des services de navigation aérienne*, ANSConf-WP/80, 5/6/00, point 5.2.

3.2.3 Application de la méthode Ramsey

À partir de quinze aéroports européens non congestionnés en 1997, Cejas-Rendeiro (1997) recueillent les statistiques des coûts pour un B737-200 afin de connaître la part en pourcentage des redevances d'atterrissage, des passagers, des stationnements et des services de contrôle du trafic aérien dans le total des redevances aéronautiques. Le sondage auprès des aéroports sélectionnés confirme que 47 % des revenus aéroportuaires sont générés par la redevance des passagers pour environ la moitié d'entre eux. La part des redevances encourues par les passagers a même tendance à croître. Il serait intéressant de vérifier lesquels de ces aéroports sont publics ou privés.

Suite aux résultats obtenus, Cejas-Rendeiro (1997) fixent les bases d'une application pratique de Ramsey. Il s'agit d'un modèle basé sur le coût marginal puisqu'il représente la moyenne des droits d'atterrissage internalisant les externalités négatives. L'étude porte sur huit types d'aéronefs : DC-9, MD-87, A-320, B-727, B-757, A-300, DC-10, B-747, et est limitée à sept distances sur un intervalle de 500 à 3500. Les redevances sont analysées afin de détecter celles qui ont un poids significatif dans les coûts totaux pour un mouvement de quatre heures entre le décollage et l'atterrissage. La formule du coût final, qui englobe les coûts directs[24] et indirects d'exploitation par bloc d'heures, coûts basés sur la distance, est exprimée en dollars américains de 1992. De plus, une liste d'hypothèses est respectée. Les aéroports non congestionnés où les pistes sont sans interdépendance entre le décollage et l'atterrissage sont pris en considération. Le coût marginal est estimé à 79,00 $ par les ingénieurs de AENA (Aeropuertos Espagnoles y Navegacion Aérea). Quelques résultats d'estimation sur la structure des droits d'atterrissage sont empruntés à Morisson (1982) et les valeurs des élasticités prix et temps sont en référence à DeVany (1974). La détermination de l'élasticité-prix des atterrissages est inéluctable dans la démonstration mathématique du prix Ramsey. Afin de simplifier le modèle, l'élasticité prix-croisé égale zéro (pas de produit substitut). Les variables suivantes sont donc en mesure d'être calculées :

[24] Données tirées du manuel de l'économie des aéroports de l'OACI (doc 9562, section 3).

- Le coût direct d'un vol par bloc d'heure (1),
- Le coût total d'un vol additionné aux coûts indirects (2),
- La moyenne des droits d'atterrissage additionnée à la moyenne du coût social marginal dans le but d'évaluer le total des redevances d'atterrissages domestiques (3),
- Le point (3) divisé par la variable (2) afin d'estimer la part des droits d'atterrissage (4),
- L'élasticité-prix du transport aérien (5),
- L'élasticité-prix des atterrissages (4)*(5).

Les auteurs tentent de savoir si une augmentation du droit d'atterrissage, majorée au-dessus du coût marginal et inversement proportionnelle à l'élasticité de la demande d'atterrissage, couvre les coûts. Cejas-Rendeiro (1997) ont recours au modèle mathématique sur la dérivation de la formule du prix Ramsey élaboré par Morisson (1982).

Il est maintenant possible de procéder à l'application mathématique d'un problème d'optimisation sous contrainte et plusieurs hypothèses. Il faut comprendre que l'équation est partielle, sinon la partie associée au terminal serait intégrée et son interprétation serait complète. Le problème d'optimisation sous contrainte de revenu est :

Max

$Q_1 \ldots Q_n, \lambda$

$$L = \int_0^{Q_1} P_1(Q_1)\, dQ_1 \quad + \ldots + \int_0^{Q_n} P_n(Q_n)\, dQ_n \; - \; C\,(Q_{1,\ldots,}Q_n)$$

$$+\lambda \left[\sum_{i=1}^{n} PiQi - C(Q1,...Qn) - F \right], \qquad (1)$$

où pour tout i = 1,…n

P_i = les redevances facturées aux aéronefs par catégorie selon le type et la durée du vol,
Q_i = le nombre d'atterrissages par catégorie,
C ($Q_{1, \ldots, }Q_n$)= le coût variable total d'un aéroport pour les atterrissages,
F = le coût fixe d'un aéroport qui doit être couvert,
Pi Qi = suppose que le nombre d'atterrissages par catégorie i n'est pas influencé par les droits d'atterrissages facturés aux autres, la substitution possible du type d'aéronef étant ainsi ignorée.

Dans la formule, le premier terme représente le produit entre la demande inverse pour un niveau de production et la variation en mouvement de l'aéronef associé. Le deuxième représente les coûts totaux de long terme, soit la sommation du coût fixe et du coût variable. Le dernier est la contrainte du revenu d'exploitation, définie par ce que peut gagner un aéroport en fonction de sa capacité optimale disponible. Une meilleure connaissance de la valeur réelle du bénéfice de l'utilisation du terrain d'aviation est strictement obtenue par les coûts engendrés par les atterrissages. Les auteurs étudiés calculent tous de façon globale.

À partir de l'équation générale de Morisson (1982), Cejas-Rendeiro (1997) évaluent la condition de premier ordre par rapport au nombre d'atterrissages par catégorie.

Condition de 1er ordre

$$\frac{\partial L}{\partial Q1} = P_i - \frac{\partial C}{\partial Qi} + \lambda \left(Pi + Qi \frac{dPi}{dQi} - \frac{\partial C}{\partial Qi} \right) = 0 \qquad \text{i=1,…, n} \qquad (2)$$

et ils résolvent (2)

$$\frac{P_i - \dfrac{\partial C}{\partial Q_i}}{P_i} = \left(\frac{\lambda}{1+\lambda} \right) \frac{1}{\varepsilon i} \quad , \qquad \text{i=1,…, n,} \qquad (3)$$

$$\varepsilon_i = \eta i \left(\frac{Pi}{Pi + TCi} \right) \quad \text{et} \quad \eta i = \frac{12.19 + 0.0825Mi}{17.19 + 0.0683Mi} \qquad i=1,\ldots,n, \qquad (4)$$

où

ε_i = élasticité de la demande pour les atterrissages en valeur absolue en relation avec ses redevances,

TCi = le coût du vol pour la $i^{ième}$ catégorie excluant le droit d'atterrissage,

M_i = la distance d'un voyage pour une variété de distances,

ηi = élasticité de la demande des passagers de $i^{ième}$ catégorie d'aéronef[25].

Trois hypothèses sous ηi :

1) C'est une moyenne pondérée de l'élasticité-prix pour un même avion avec des distances différentes.
2) La durée de vol de tous les passagers est identique à celle d'un aéronef spécifique.
3) La valeur réelle du service (ou la bonne volonté de payer) réside dans la taille de l'avion et la distance parcourue.

L'équation (3) réduit le revenu marginal au coût marginal ($\frac{\partial C}{\partial Qi}$) en situation de monopole. Dans l'étude de Morisson (1982), les droits d'atterrissage actuels génèrent suffisamment de revenus aux aéroports. Les valeurs de d'élasticité (ηi) proviennent de DeVany (1974). Ensuite, les expressions de (4) sont substituées dans (3) pour connaître le prix (5). Ce prix indique que les droits d'atterrissage sont une fonction du coût marginal. Puisque cette étude concerne des aéroports non congestionnés, il y a absence d'externalités. Le terme $\frac{\partial C}{\partial Qi}$ est donc interprété en incluant les coûts externalités et en principe, il n'y a pas de déficit. Il faut lire Oum et Tretheway (1988) pour comprendre mathématiquement les concepts d'externalité et de déficit relatif à la règle de Ramsey. Finalement, l'équation (5)

[25] Données des paramètres tirées dans DeVany, A. (1974), pp. 77-82.

estime le droit d'atterrissage de différents types d'aéronefs pour une distance X. La formule de prix est :

$$P_i = \frac{\frac{\partial C}{\partial Q_i} + \frac{k}{\eta_i} TC_i}{1 - k/\eta_i} \quad , \qquad i=1,\ldots,n. \qquad (5)$$

Le coût marginal diffère d'un aéronef à l'autre selon la fréquence des mouvements et le poids des aéronefs. La variable (k) représente la contrainte de revenu. Une valeur de (k = 0) engendre un (λ = 0) mais si (k = 1) et que le revenu nécessaire est au maximum du niveau réalisable, alors la valeur de λ s'approche de l'infini. On compte autant de valeurs de (k) que de coûts marginaux et les comportements des résultats restent les mêmes. Dans cette étude et dans le cadre de ce mémoire, la valeur donnée à (k) est 0,0888 étant donné que les redevances étaient du même ordre que les droits d'atterrissage basés sur le poids facturés aux aéroports espagnols.

Ainsi la valeur algébrique du prix Ramsey, Pi, est dévoilée. Le prix dépend à la fois du résultat du coût marginal, de l'élasticité-prix de la demande de passagers en valeur absolue et du coût total d'un vol.

Cejas-Rendeiro (1997) évaluent empiriquement l'équation (5) pour chacune des distances sélectionnées et établissent un critère de normalisation sur l'aéronef le plus léger (DC-9), permettant ainsi de comparer les implications des ratios de la règle de base dans la formule standard où ils ont substitué toutes les valeurs des paramètres. Leurs conclusions vont dans le même sens que Morisson (1988) et viennent soutenir l'hypothèse que la méthode Ramsey est économiquement plus efficace. Elle assure la solvabilité en réduisant les déficits encourus par les opérations aéronautiques, évitant donc les besoins en subventions et permettant ainsi l'intégration d'une structure de tarifs aux coûts sociaux générés par les externalités. De plus, l'analyse démontre que l'élasticité-prix de la demande augmente en valeur absolue avec la durée d'un vol, que la volonté de payer dépend de la distance et que le droit d'atterrissage augmente à la même mesure que celle de la taille de l'avion. Ce

phénomène est entièrement dû à l'effet du coût de vol. S'il est basé sur le poids, il s'élève trop rapidement. Pour toutes distances données, les ratios diminuent quand la taille de l'avion s'accroît. Les ratios normalisés du prix Ramsey varient en raison des différences de poids, selon les atterrissages ou les décollages. Pour tout type d'aéronefs, les ratios augmentent avec la distance, car pour les longs vols, la dérivée de sa demande est plus inélastique qu'en vols courts. Cela indique que le prix Ramsey croît plus rapidement que la méthode traditionnelle et que l'introduction du prix Ramsey résulte en un haussement des redevances pour les petits avions à longues distances et une réduction des droits pour les vols courts des gros porteurs. Mais ces types de trajectoires sont peu pratiqués.

Cependant, il faut mentionner que les valeurs réelles des variables sont affectées par quatre limites principales et peuvent nuancer les conclusions :

- L'inaccessibilité des données d'estimation du coût marginal des transporteurs,
- Les paramètres d'élasticité et les coûts totaux d'opération liés à la distance nécessitent une mise à jour,
- L'élasticité de la demande et les coûts d'opération avec distance proviennent d'études nord-américaines,
- Les élasticités de la demande des voyages des passagers, la distance du trajet, et les équations d'estimations du coût total d'opération en fonction de la distance sont une première approximation des valeurs utilisées par Morisson,
- La coupure entre la période de réglementation et de dérèglementation de l'industrie aérienne au cours des années 80 n'est nullement prise en considération. Un calcul des élasticités calculées à partir des années 2000 seraient intéressants.

Morisson (1982) déclare aussi qu'avant de pouvoir appliquer cette structure de redevances dans le marché de l'aéroport, il est probablement nécessaire de développer une base de prix. Pour rester dans la même lignée que Ramsey, Morisson (1982) propose l'emploi de la taille de l'aéronef ainsi que les variables de distance parcourue puisque c'est un choix fort approprié et simple à appliquer. Comme mesure, l'ASM (*Available Seat Miles*)

est suggérée puisqu'elle est reconnue pour combiner ces deux dimensions : le produit des sièges disponibles par la durée d'un vol. D'ailleurs, l'ASM est déjà utilisée dans l'industrie.

La méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) est utilisée comme argument de preuve. La perte en bien-être causée par la déviation du prix Ramsey est ainsi minimisée par la détermination d'un montant fixe par atterrissage et d'un frais par ASM. Les droits d'atterrissage sont ensuite régressés sur les sièges disponibles. Le « t-statistique » est entre parenthèses. Voici son application mathématique :

$$\text{Droit d'atterrissage} = \underset{(9.05)}{100.24} + \underset{(30.89)}{0.72}\ \text{ASM} \quad \text{(en 000)},$$

où $R^2 = 0.976$ et n =25 (cinq types d'aéronefs avec cinq distances différentes).

Le R^2 élevé prouve avec évidence que ce système estime raisonnablement bien les prix Ramsey et que cette formule permet de mieux ajuster la quantité des vols que celle basée uniquement sur le poids. De plus, des gains en bien-être sont obtenus si le vol moyen est bien calculé. Ces gains sont basés sur la quantité d'ajustements des petits avions de longues distances (moins de vols pour cette catégorie) et des gros avions sur les petits trajets (plus de vols). Cependant, la faible élasticité de la demande pour les atterrissages engendre peu de gains.

Finalement, un minimum d'effort est exigé pour implanter ce système puisque les mécanismes de facturation et d'application des prix basés sur le poids sont déjà en place, permettant ainsi une réduction des coûts.

Bref, la revue de littérature a permis de cerner les concepts, les systèmes et les variables de ce mémoire de recherche. La prochaine section expose la situation réelle de l'aéroport John F. Kennedy International et les données (pertinentes) sont manipulées de façon à respecter la confidentialité exigée. Le chapitre 4 permet de mieux comprendre le revenu, les différents coûts et la tarification d'un aéroport en général. Le chapitre 5 est une application

pratique de la règle de l'élasticité inverse en fonction des économistes étudiés en comparaison avec la tarification actuellement en vigueur.

CHAPITRE IV

L'AÉROPORT DE JOHN F. KENNEDY INTERNATIONAL

New York est classée parmi les métropoles les plus cosmopolites à l'échelle mondiale et d'importantes ressources sont allouées pour stimuler le tourisme. Avec une population de 8 millions de personnes et plus d'une centaine de millions de voyageurs par année, l'espace aérien de New York constitue le deuxième carrefour aérien le plus fréquenté au monde[26]. En 2008, la Grosse Pomme a attiré plus de 2 millions de touristes internationaux pour l'ensemble de ses aéroports.[27] La présente section jette un regard détaillé sur l'aéroport de JFK Intl.

L'aéroport JFK Intl est situé au sud-est de Queens, dans le quartier Jamaica. L'aéroport couvre 20 km² de superficie totale et 16,4 km² pour son terrain d'aviation. L'aéroport opère depuis 1948 et est administré par *Port Authority of New York & New Jersey*. Avec plus de 47 millions de passagers en 2008, JFK Intl figure au treizième rang mondial des aéroports et au dix-huitième en termes de mouvements d'avions. Il est une plate-forme de correspondance importante pour plusieurs compagnies aériennes américaines telles American Airlines, Delta Air Lines et JetBlue Airways. En 2008, la cérémonie des *World Travel Awards* a décerné le prix du meilleur aéroport nord-américain à l'aéroport international John F. Kennedy.

4.1 La capacité de John F. Kennedy International

La relation entre la capacité opérationnelle de l'aéroport, la demande ou le trafic aérien ainsi que les délais constituent la base de la performance de l'activité économique du transport aérien. Des innovations sont donc indispensables en matière d'efficacité pour ne pas nuire à l'économie de ce secteur industriel.

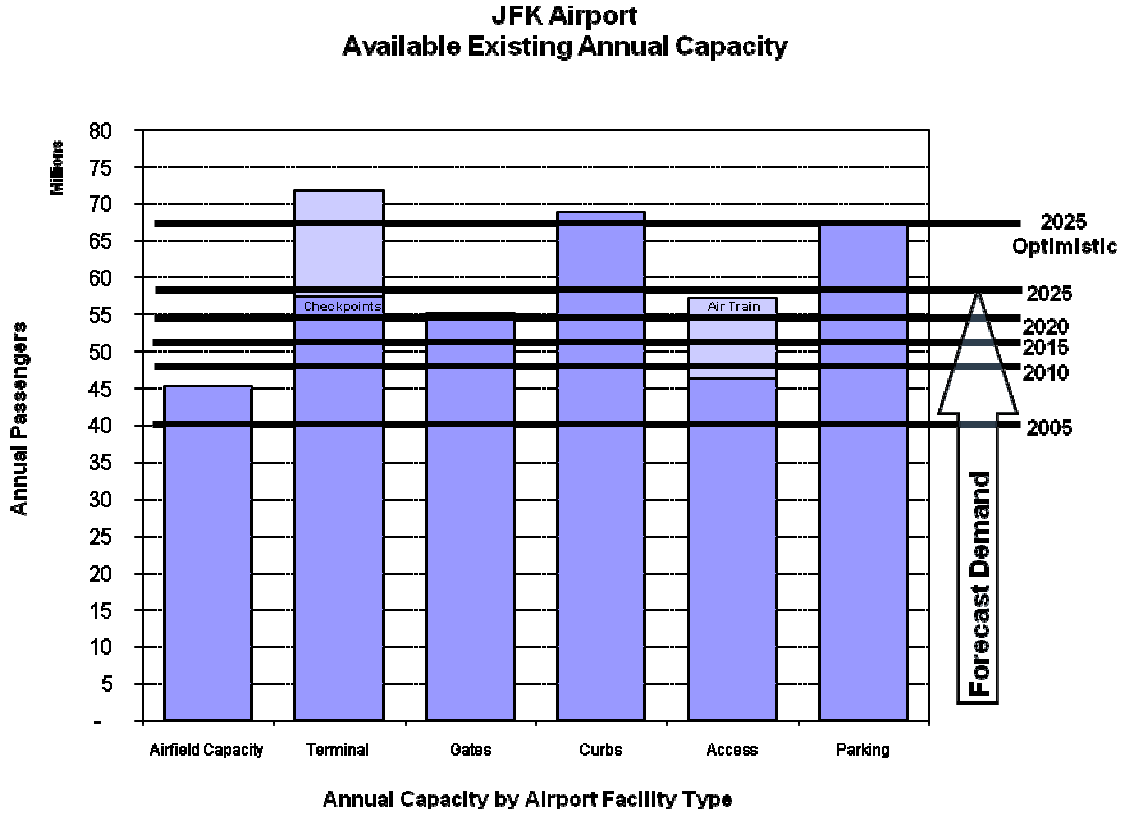
---

[26] *United States Census*, Wikipedia.
[27] Idem.

Un aéroport comporte plusieurs niveaux de capacité tel qu'identifié dans le graphique 4.1.1. La capacité du terrain d'aviation, soit les pistes et les pistes de roulement, peut être représentée en termes de passagers ou d'opérations annuelles. Actuellement JFK Intl reçoit environ 50 millions de personnes ou encore près de 430 000 mouvements d'aéronefs. Le niveau de service acceptable, c'est-à-dire qui n'engendre pas de délai et de congestion, correspond à une capacité de 450 000 à 500 000 opérations au cours des années 2007 et 2008. On dit alors que la capacité est élastique et qu'elle dépend de la flotte aérienne et de l'espace aérien. La capacité du terrain d'aviation est fixe avec une flotte et un espace aérien fixes.

L'application du modèle Ramsey concerne les chiffres de 2007 et 2008. Les exemples statistiques se concentrent donc particulièrement sur ces années. Nous avons construit tous les graphiques et les tableaux à partir des données de *Port Authority of New York & New Jersey* à l'exception de 4.1.1, portant sur la capacité, fourni tel quel. Nous avons dû fournir un effort significatif pour comprendre les données et les calculs des nombreux fichiers Excel utilisés par leurs analystes afin de divulguer les chiffres dans les tableaux.

4.1.1 La capacité disponible de JFK Intl



Source : *Port Authority of New York & New Jersey*.

La relation entre la capacité des aéroports de New York et la capacité de l'espace aérien est cruciale. L'espace aérien de la région métropolitaine de New York est classé comme le plus congestionné de la planète. Les tours de contrôle doivent employer des stratagèmes pour contrer les divers problèmes de congestion des pistes et des pistes de roulement en raison du chevauchement des trafics respectifs des aéroports JFK, LaGuardia, Newark et Teterboro. Les aéronefs ne peuvent franchir les barrières quand les pistes de roulement sont à pleine capacité ou que la piste de décollage est congestionnée, ce qui provoque aussi de la congestion aux barrières. Dans cette situation, sans la consultation du niveau de congestion de l'espace aérien, même un projet de construction d'une nouvelle piste à New York ne signifie pas nécessairement un gain en capacité.

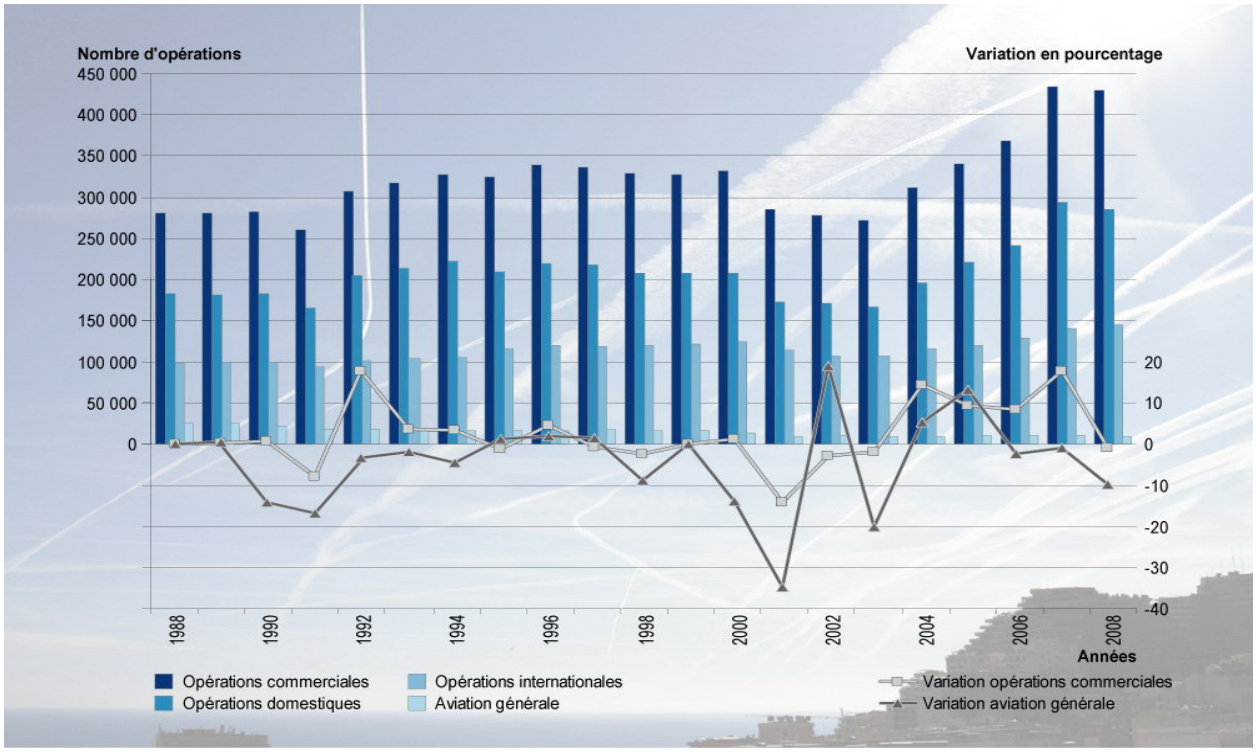
L'interaction économique des aéroports new yorkais a contraint la FAA à limiter leur capacité à 82 opérations horaires dans les heures de pointe, soit entre 15 h et 22 h du lundi au vendredi pour la période d'avril 2008 à octobre 2009. Elle modifie ce cap en fonction des prévisions du trafic aérien.

La relation entre le service de navigation aérienne et un aéroport est étroite, car un aéronef utilise ses services dans des proportions fixes. Donc, le changement de prix dans l'un des services affecte la demande pour l'autre. Une augmentation des droits d'atterrissage en période de pointe affectera aussi la synchronisation et le choix de la flotte aérienne pour l'utilisation des services de navigation aérienne (Kaplan, 2006, p. 75). C'est pourquoi les deux services devraient être établis en conjonction avec chacun au lieu de tarifer de manière équivalente mais indépendante.

4.2 Le niveau de la demande

Ce chapitre décrit l'activité économique de l'aéroport JFK. Les statistiques représentent les variables utiles à l'évaluation économique. Le choix de cet aéroport découle de l'accessibilité des données réelles fournies par *Port Authority of New York & New Jersey* afin de mettre en application la règle de Ramsey définie dans la littérature économique.

4.2.1 Total des mouvements d'aéronefs à JFK Intl, 1988-2008



Source : Statistiques de *Port Authority of New York & New Jersey*.

On constate que l'activité commerciale a crû de 53,6 % alors que l'aviation générale décroît de 65 % entre 1988 et 2008. La part des opérations domestiques explique en grande partie cette évolution avec 56,4 % d'augmentation pour la même période contre 48,4 % à l'international pour le marché commercial. Le tragique évènement du 11 septembre, ainsi que la guerre en Irak et l'épidémie du SRAS qui se sont succédés, ont affaibli l'industrie aérienne non seulement aux États-Unis mais d'un point de vue mondial. En conséquence des attentats, on assiste à une hausse passagère du prix du kérosène qui engendre une chute de la demande. Les pays de l'OPEP ont donc réduit leur production de pétrole suite au consensus de 2002, engendrant ainsi une augmentation des prix. Les perturbations du niveau de l'offre de pétrole sont influencées par la conjoncture internationale. La volatilité des prix du baril découle d'évènements tels que des guerres, des épidémies, du terrorisme et de crises institutionnelles comme en Russie et au Vénézuela.

L'aéroport JFK l'exprime par une baisse générale de 14 % de ses opérations commerciales et une variation négative de 17 % se fait sentir sur le marché domestique en 2001. La tendance à la baisse tend à s'amenuiser par la suite. On note que le prix du baril affiche une hausse de 18,4 % pour la période de 2000-2003 (ministère des Transports du Québec , 2007). À partir de 2004, le trafic intérieur aérien laisse présager une relance avec une augmentation significative de 18 %. Cependant, la flambée du prix du carburant, soit une augmentation de 32,2 % par rapport à 2003, affecte grandement la rentabilité des compagnies aériennes américaines qui opèrent dans un marché domestique très compétitif (ministère des Transports du Québec, 2007). Elles ont été contraintes de réduire leur capacité en termes de dessertes et de fréquences pour certains vols. On constate donc des pertes financières considérables dans son ensemble. Ensuite, en 2005, le prix du baril de pétrole augmente de 38 % par rapport à 2004. Enfin, en 2007, on dénombre 434 194 mouvements d'atterrissage et de décollage, soit une augmentation de 17,7 % par rapport à 2006. Cependant, JFK subit une perte respective de 2,7 % et 2,5 % de son trafic domestique et international alors que le trafic de l'aviation générale diminue de 9,9 % en 2008. Les statistiques qui suivent excluent l'aviation générale (GA) puisque JFK connaît un trafic important au niveau commercial et que les données fournies par type d'aéronef concernent le commercial. Il est à noter que GA correspond à des avions de 50 sièges et moins.

4.2.2 Pourcentage des mouvements annuels par classe d'aéronefs, 1990-2008

Année	*Wide Body Jet*	*Narrow Body Jet*	*Regional Jet*
1990	64,4	35,2	0,4
1991	64,7	34,9	0,3
1992	63,7	31,7	4,6
1993	64,0	30,1	5,9
1994	61,1	30,9	8,0
1995	62,0	29,0	9,0
1996	58,5	26,9	14,6
1997	58,2	26,3	15,5
1998	46,4	22,7	30,8
1999	47,5	23,5	29,1
2000	46,7	26,0	27,4
2001	47,3	34,7	18,0
2002	47,5	35,6	16,8
2003	45,3	40,5	14,2
2004	40,2	44,0	15,8
2005	36,1	44,2	19,7
2006	32,8	47,3	19,9
2007	29,1	47,4	23,6
2008	27,8	48,9	23,3

Source : Statistiques de *Port Authority of New York & New Jersey*.

Ce tableau est très révélateur des parts d'opération associées à chacune des catégories. *Wide Body Jet* est constitué des poids des aéronefs supérieurs à 300 001 livres. *Narrow Body Jet* est représenté par des poids entre 90 001 à 300 000 livres alors que *Regional Jet* est dans l'intervalle de 3000 à 90 000 livres. La première catégorie sert un minimum de 160 à 500 sièges mais est largement surpassée par *Narrow Body Jet* qui offre une capacité entre 80 et 190 passagers. Finalement, *Regional Jet* génère 23,3 % du revenu commercial total et 2 % provient du privé en 2008. On peut établir un parallèle avec les proportions annuelles associées aux classes d'aéronef et leurs conséquences respectives sur l'usage des pistes, même si tous sont facturés selon la même moyenne, et ce, peu importe la fréquence et l'importance de leur mouvements dans l'ensemble.

Un graphique sur l'évolution des poids accueillis à JFK est utile pour percevoir quelle classe d'avions a eu le plus d'impact sur l'usure et les dommages des pistes.

4.2.3 Pourcentage du poids total annuel par classe d'aéronefs, 1990-2008

Année	*Wide Body Jet*	*Narrow Body Jet*	*Regional Jet*
1990	84,0	15,9	0,1
1991	84,0	15,9	0,1
1992	84,4	15,1	0,5
1993	84,7	14,7	0,6
1994	84,1	15,0	0,8
1995	84,9	14,2	0,9
1996	84,8	14,2	1,0
1997	84,6	14,4	1,0
1998	81,8	14,8	3,4
1999	81,9	14,8	3,2
2000	80,7	16,1	3,2
2001	78,5	19,2	2,3
2002	78,5	19,4	2,1
2003	75,1	23,2	1,7
2004	70,8	26,8	2,4
2005	68,1	28,7	3,2
2006	66,1	30,5	3,4
2007	63,9	31,7	4,4
2008	61,8	33,2	4,9

Source : Statistiques de *Port Authority of New York & New Jersey*.

On remarque que 27,8 % des mouvements des aéronefs *Wide Body Jet* représente tout de même 61,8 % du poids total au commercial accueilli à JFK comparativement à 33,2 % pour *Narrow Body Jet* en 2008. C'est tout de même 69 443 millions de livres contre 37 337 millions de livres. La comparaison entre le nombre de mouvements et le poids total des aéronefs est non négligeable. Une approche pour le service de navigation aérienne consiste à démontrer les heures de vols effectuées et le nombre de kilomètres parcourus.

Le poids est une variable indispensable à la fixation de la tarification mais il importe aussi de comprendre la composition du coût total d'un aéroport afin d'établir le prix au coût moyen du service d'un vol. La théorie donne un portrait global mais les exceptions et les variantes sont exclues des concepts. La réalité donne une image bien différente.

4.3 Détermination des coûts du service des aéroports

Les dépenses opérationnelles ou les coûts des aéroports fluctuent selon différents facteurs. En 1998, Air Transport Intelligence (ITA, 1998, p. 111), a défini un certain nombre d'éléments en cause sur les variations des niveaux des coûts : le type de vol (domestique et intra-É-U/international), la fréquence de vols, la période d'atterrissage, le nombre de passagers embarqués, la profondeur du stationnement ainsi que le volume d'essence à bord.

La comptabilité du coût total peut servir à énoncer des prévisions sur le trafic aérien en se référant aux bilans financiers antérieurs. Les coûts totaux des aéroports sont composés de coûts fixes provenant des coûts de construction des pistes et de l'aérogare, amortis sur un certain nombre d'années ainsi que des coûts variables qui sont fonction du nombre d'atterrissages et de la taille de l'avion. L'aéroport JFK comptabilise les coûts directs et les coûts généraux dans les coûts fixes alors que les coûts variables sont composés de plusieurs catégories de dépenses, mais un crédit est accordé par la FAA pour différentes raisons. Le coût du capital, évalué à 60 millions en 1943, est exclu, car la construction des pistes et des terminaux est réglé depuis longtemps. Une traduction de la facture concernant la distinction des dépenses fixes et variables ne serait pas juste.

4.3.1 Coût total d'opération et d'entretien de JFK Intl

Coût fixes	Coûts variables
Direct cost centers	**Direct prorated Expenses**
Public aircraft facilities	
Systems	**Allocated Expenses**
Air train	
Port Authority Administration Space	**Rent to the City of NY**
All other revenues producing	
	Fixed Charges
General costs	Public aircraft facilities
Policing & traffic	systems
Emergency services	air train-airline contribution
Police-Administrative & Clerical and other	air train-Port NYJ
Janitorial	Port authority administration space
Snow & Ice	all other revenue producing areas
Care of grounds	
Structural Maintenance	**Fixed charges cover**
Mechanical Maintenance	
Electrical Maintenance	**Total Credit**
Paving	
Maintenance-Administrative Clerical and other	
Public liabiliy, property damage workers Comp	
Other units	

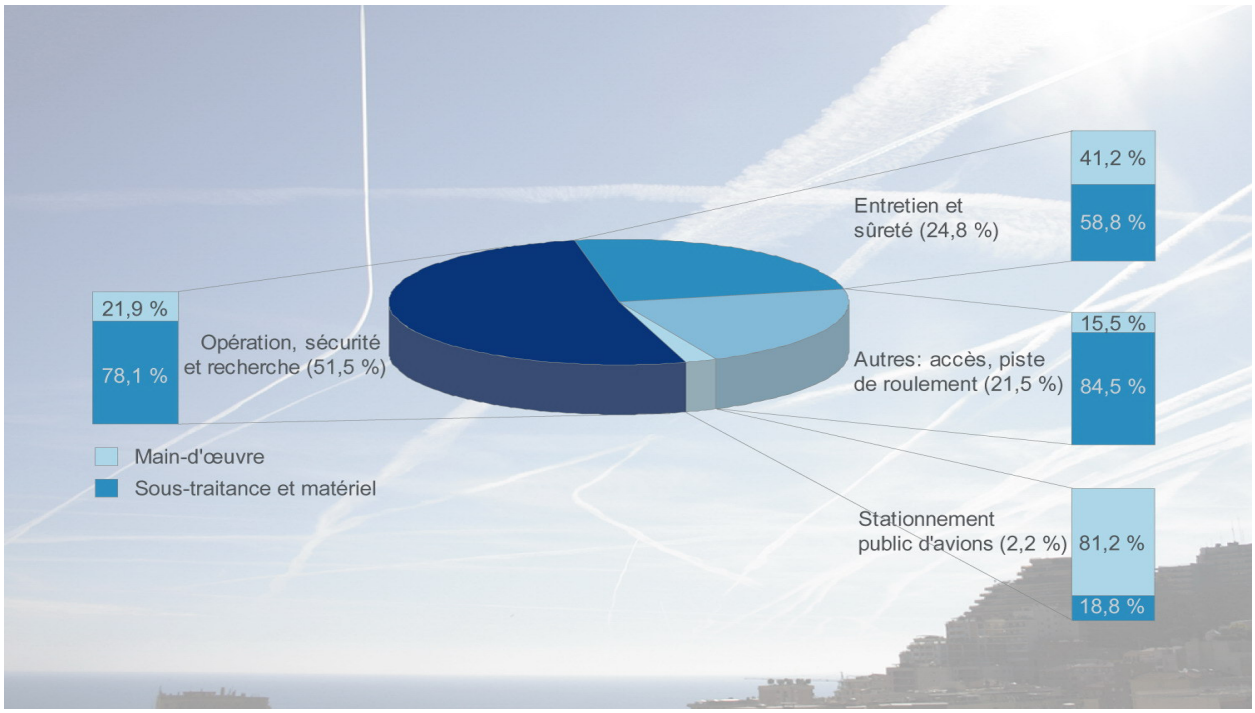
Source : *Port Authority of New York & New Jersey*.

En 2007, les coûts fixes représentent 60 % de la totalité des coûts de l'aéroport contre 39 % pour les coûts variables. L'année 2008 connaît une augmentation de 7 % de ces coûts variables et une diminution de 7 % de ces coûts fixes.

La recherche en cours concerne strictement les dépenses aéronautiques. Il est indispensable de décrire les coûts du terrain d'aviation. Ils correspondent à une portion du coût total de l'aéroport et elle est utilisée dans le modèle Ramsey. Les coûts s'établissent par blocs de temps. Le bloc de temps s'amorce au début du vol quand l'avion se déplace et se termine quand l'avion arrête de se mouvoir à la fin de son voyage. Il inclut aussi le temps de taxi, avant et après un décollage et un atterrissage. La comptabilité des dépenses aéronautiques n'identifie pas les coûts fixes des coûts variables. Elles sont plutôt répertoriées en 85 catégories, qui sont ensuite ventilées en quatre grandes sous-catégories démontrées

dans le graphique 4.3.2. De plus, une division subsiste entre les coûts en main-d'œuvre, en services spécialisés et en matériel. La différence tient seulement de la provenance des services, soit à l'interne ou à l'externe de l'aéroport. Le graphique démontre la répartition des coûts de l'utilisation des services du terrain d'aviation.

4.3.2 Ventilation du coût total du terrain d'aviation à JFK Intl



Source : Statistiques de *Port Authority of New York & New Jersey*.

Les dépenses associées aux opérations, à la sécurité et la recherche représentent la catégorie la plus importante avec 51,5 %, soixante-dix-huit pourcent sont des employés en sous-traitance et du matériel au sol. L'entretien aéronautique constitue un coût supérieur à 10 000 000 $ mais aussi déterminant que le coût des opérations. Les dépenses d'accès, des pistes de roulement et des stationnements publics d'avions sont essentielles mais moins dispendieuses dans leur totalité.

Pour connaître la variation du coût total des services aéronautiques entre 2007 et 2008, une relation est faite à partir du coût total des services aéroportuaires puisqu'il intègre à la fois les dépenses du terminal et du terrain d'aviation. Dans le cas de l'aéroport JFK, c'est le coût total de l'aéroport qui fait la différence, car les coûts du service aéronautique varient très peu d'une année à l'autre.

La demande et les coûts sont les variables responsables dans la fixation du prix d'un service de vol. Maintenant qu'ils sont connus, il est possible d'aborder la tarification.

4.4 Tarification des services aéroportuaires

Les utilisateurs de services aéroportuaires prennent les formules des tarifs comme données, il en est autrement pour le taux unitaire associé à ces calculs. Ce taux diffère d'un aéroport à l'autre selon sa situation économique. Les différences résident dans la base comptable utilisée pour estimer les coûts de dépréciation et d'amortissement. Le prix nominal de remplacement des installations aéroportuaires et de son équipement est beaucoup plus élevé à la fin de la durée de vie utile de ceux-ci à cause de l'inflation. La construction d'un terminal en 1975 aurait pu coûter 125 millions (en dollars de 1975) alors que cette même construction en coûterait 450 millions en 2000 (en dollars de 2000). On retrouve donc une multitude de tarifs dans le manuel de tarification de l'OACI.

Avant de passer au niveau de la tarification, il importe d'expliquer la provenance des tarifs unitaires qui sont intégrés dans l'équation. La méthode de calcul utilisée afin d'obtenir le taux unitaire facturé pour l'usage des services des aéroports est la même. Cette méthode est approuvée par les aéroports, les compagnies aériennes ainsi que les organisations internationales comme l'OACI et IATA. Le tableau suivant constitue un exemple représentatif pour comprendre la structure de la tarification des services d'usage d'un aéroport à caractère public en sol américain.

4.4.1 Structure du droit d'atterrissage : prix au coût moyen

	Description de l'élément	Montant
A	Capital cost of public part of airfield at beginning of fiscal year 2000	185 518 266 $
B	Depreciation of public aircraft facilities	7 420 731 $
C	Interest on public aircraft facilities	8 014 837 $
D	Depreciation on equipment	239 483 $
E	Interest on equipment	172 863 $
F	Snow removal services	1 330 000 $
G	Maintenance and operations	14 779 532 $
H	Administration	8 728 346 $
I	Allocated portion of estimed tax liability	1 873 675 $
J	Prior year adjustment to projection	-2 390 776 $
K	Annual cost of airfield facilities in fiscal year 2000 (B+…J)	40 168 691 $
L	Projection of scheduled air carrier weight (000 lbs)	22 600 000
M	Landing fee per 1000 lb for fiscal year 2000 (=K/L)	1,78 $

Source : *Airport System*, p. 285.

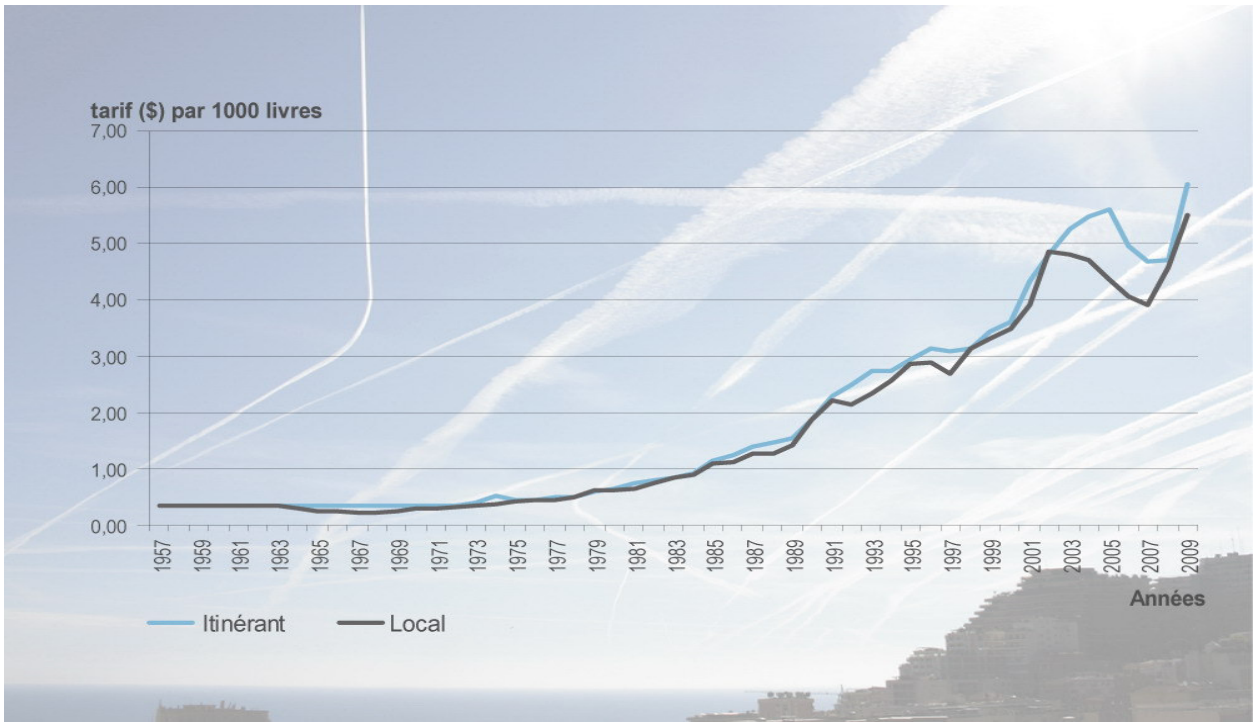
L'élément A représente la valeur nette des avoirs ou la valeur nette restante après dépréciation des installations aéroportuaires au début de l'année fiscale 2000 alors que l'élément B correspond à 4 % de A. Ce taux est en vigueur aux États-Unis et favorise les utilisateurs des services aéroportuaires du côté piste. De plus, il représente un faible coût de dépréciation à travers le temps. Dans ce cas-ci, le gouvernement fédéral a subventionné un montant de 84 millions US pour améliorer les installations mais cette somme est exclue du capital (A). On assisterait à une augmentation du taux unitaire du droit d'atterrissage. Ensuite, les dépenses en opérations et entretien ainsi que l'administration (G et H) constituent plus de 50 % des coûts totaux (K). Ces coûts sont directement liés avec le côté piste et la main-d'œuvre qui opère les lieux. L'élément I représente simplement une contribution de 1 % sur le total des avoirs nets (A). La raison de ce faible pourcentage est justifiée par la pensée américaine. Un aéroport est un lieu d'usage public accessible aux compagnies aériennes et aux autres utilisateurs, et ce, au coût le plus bas possible. L'élément J est ajustable selon la cible de revenu de l'année précédente. Finalement, on obtient le taux par unité de demande pour une période de temps, soit M par la division des coûts totaux générés par les avions sur le terrain par le poids réel total en livres ou tonnes (K/L) à recevoir, poids

basé sur l'année précédente d'où l'ajustement possible de J. Un crédit sera accordé s'il y a eu une sous-estimation de la projection du poids total des avions comme c'est le cas dans notre exemple ici.

Le niveau de la demande influence donc le prix facturé aux compagnies aériennes ainsi qu'à l'aviation générale. Par contre, le calcul de la tarification au décollage et à l'atterrissage comporte des disparités en termes de masse, ce qui se reflète dans la fixation du prix au coût moyen.

L'aéroport JFK calcule selon le poids maximum au décollage (MTOW). Notons que le tarif unitaire par tranche de 1000 livres officiellement transmis à l'OACI est fixé à 4,65 $ pour 2008 alors que les documents publics de *Port Authority of New York & New Jersey* déclarent 5,35 $ alors qu'en réalité 4,59 $ est appliqué. Dans le cadre de ce travail, 4,59 $ par 1000 livres est préféré pour les calculs en 2008. Ensuite, bien qu'officiellement 50,00 $ supplémentaires est facturé pour les périodes de pointe et 100,00 $ de plus pour des surcharges de poids, l'aéroport JFK fixe un niveau de redevances au décollage identique pour les périodes à forte et faible activité. Le graphique suivant montre le niveau de la tarification dans le temps.

4.4.2 Évolution du prix au coût moyen par 1000 livres, 1957-2009



Source: Statistiques de *Port Authority of New York & New Jersey*.

Un tarif dit « local » ou *schedule carrier* fait référence aux ententes commerciales entre des compagnies aériennes et un aéroport donné pour une année complète. L'horaire annuel est connu d'avance en termes du nombre de vols et d'aéronefs. En opposition, un tarif « itinérant » est défini par des vols non programmés mais dont les compagnies aériennes ont l'intention d'utiliser les services aéroportuaires prochainement. De plus, on y associe les *charter*s, les vols d'affaire et de l'aviation générale. On y classe aussi les vols avec nécessité de déviation de trajectoire pour un atterrissage d'urgence.

On remarque que le prix est différent pour un vol local et itinérant, bien que cette différence soit petite, sauf entre 2003 et 2007. Il est maintenant facile de calculer le prix total d'un aéronef selon la tarification appliquée. Le tableau suivant fait ressortir six types différents selon la fréquence et le poids totaux les plus élevés enregistrés entre 1990 et 2008.

La sélection de trois aéronefs par classe a été choisie pour afficher les différences et ces neuf aéronefs sont en opération à la fois dans la flotte aérienne de 2007 et 2008 à l'aéroport JFK.

4.4.3 Prix total et écart au coût moyen par type d'aéronef, 2008

Aéronefs	Poids (livres)	Prix unitaire ($)	Coût moyen ($)	Différence ($)
BOEING 747-400	910 000	4176,90	546,12	3630,78
BOEING 767-300/ER	412 866	1895,05	546,12	1348,93
A300-600/R/CF/RCF	372 860	1711,43	546,12	1165,31
BOEING 757-200	257 235	1180,71	546,12	634,59
AIRBUS 320-100/200	171 958	789,29	546,12	243,17
MD-80,1,2,3,7,8	148 083	679,70	546,12	133,58
EMBRAER 170	82 012	376,44	546,12	-169,68
CANADAIR RJ-100/ER	53 000	243,27	546,12	-302,85
EMBRAER-135	44 092	202,38	546,12	-343,74

Source : Statistiques de *Port Authority of New York & New Jersey.*

* Difference = Prix unitaire ($) ─ Coût moyen ($).

On remarque que le prix unitaire augmente rapidement avec la masse maximale au décollage (poids). Cette constatation est normale puisque le taux unitaire s'obtient par la division du coût total de l'aéroport par le poids total au décollage accueilli sur les pistes de JFK. Lorsque ce poids total augmente, le tarif moyen diminue. Ce tarif, facturé par tranche de mille livres, croît à mesure que le poids d'un aéronef augmente. Donc, le prix total facturé pour l'utilisation des services aéronautiques reflète le poids de l'aéronef. Le tableau 4.4.3 affiche cette croissance du prix en fonction de la masse maximale au décollage. De plus, il est intéressant de faire la différence entre le prix facturé et le coût moyen par aéronef pour l'aéroport. On constate que les jets régionaux ne couvrent pas le coût moyen de l'aéroport par mouvement d'aéronefs alors que les *Wide Body Jet* le comblent. Les petits aéronefs paient réellement moins que le seuil de rentabilité. Selon une étude de Kaplan (2004), la taxe d'aviation vient amplifier l'écart. Par exemple, le prix unitaire facturé pour un Embraer ne permet pas une couverture complète du coût moyen et de la taxe. D'ailleurs, le tableau le démontre bien. Par contre, la sommation des différences individuelles devient très significative mais s'annule pratiquement de façon agrégée. Le prix unitaire facturé est normalement supérieur pour les gros aéronefs en raison du fait qu'ils engendrent des

dommages plus sévères à la piste et qu'on leur attribue des coûts d'entretien par mouvement (décollage et atterrissage) plus élevés par rapport aux petits aéronefs. Donc, le prix unitaire est établi en fonction d'obtenir un écart entre le prix unitaire et le coût moyen plus grand pour les aéronefs avec un poids plus lourd que les aéronefs plus légers. Les statistiques du tableau 4.2.2 démontrent que l'aéroport JFK reçoit une large variété de gros et petits aéronefs. En effet, on compte 27,8 % de mouvements pour les *Wide Body Jet* contre 72.2 % pour les plus petits aéronefs (*Narrow Body Jet* et *Regional Jet*). C'est pourquoi la différence entre le prix unitaire et le coût moyen tend vers zéro pour la totalité des calculs (colonne « différence ». Une tarification qui discrimine par rapport à la masse maximale au décollage ou à l'atterrissage peut être efficace pour assurer une couverture des coûts en situation de capacité optimale, car le coût marginal est bas, et ce, autant pour un aéroport que pour le service de navigation aérienne.

Par contre, lorsqu'il y a congestion, une discrimination tarifaire par le poids devient inefficace, car la faible valeur du service de vol ne peut compenser les pertes financières causées par les délais imposés sur les autres. Donc, les heures de pointe accentuent la déviation du coût moyen en raison du fait que les coûts d'externalités sont exclus dans le calcul du tarif pour les services aéronautiques. Bien qu'il ait été mentionné que le niveau de service acceptable de l'aéroport JFK n'était pas dépassé annuellement, plusieurs blocs d'heures sont congestionnés et le tarif moyen est le même en tout temps pour n'importe quel type d'aéronef. Le système actuel devrait imposer une redevance d'atterrissage qui couvre les coûts du terrain d'aviation et qui tient compte des délais et de la congestion.

4.5 Tarification des services de navigation aérienne

La FAA facture les compagnies aériennes pour l'usage des services de navigation aérienne sur la même base de tarification des services aéroportuaires pour fixer le taux unitaire moyen. La différence se remarque dans un montant de facturation qui varie en fonction de la distance, contrairement aux aéroports où c'est le poids qui prime. Aux États-Unis, le temps de surveillance en vol se distingue par une redevance de 33.72 $ pour un

survol dans son espace aérien et de 15.94 $ pour un survol océanique calculé par tranches de 100 milles nautiques.

NavCanada tarife autrement puisqu'elle tient compte à la fois d'un taux unitaire, de la distance ainsi que de la masse maximale au décollage. EUROCONTROL facture semblablement. Le document 9082 sur les tarifs des aéroports et du service de navigation aérienne de l'OACI détaille la tarification comme suit.

4.5.1 Redevances des services en route

La redevance (R), pour un vol dans l'espace aérien relevant de compétence canadienne, est calculée selon un taux unitaire (T), un coefficient de masse (M) et une distance (D) en kilomètres, ce dernier correspond à un calcul de distance orthodromique[28]. La formule est représentée par :

$$R = T \cdot M \cdot D . \qquad (15)$$

Le coefficient de masse (M) est défini par le radical de la masse maximale au décollage en tonnes métriques (MMD) divisée par cinquante. Ce facteur de division sert à obtenir un ratio sur une moyenne de cinquante tonnes.

$$M = \sqrt{\frac{MMD}{50}} . \qquad (16)$$

La formule (15) peut être réécrite en substituant le facteur (M) et en remplaçant le taux unitaire (T) par un coefficient expérimental.

$$R = 0{,}03481 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{MMD}{50}} . \qquad (17)$$

[28] L'orthodromie désigne le chemin le plus court entre deux points d'une sphère, c'est-à-dire l'arc de grand cercle qui passe par ces deux points. Pour les navigateurs, une route orthodromique désigne ainsi la route la plus courte à la surface du globe terrestre entre deux points. (http://fr.wikipedia.org/wiki/Orthodromie).

4.5.2 Redevances des services terminaux

La redevance (R), pour un vol dans l'espace aérien d'un aérodrome spécifique, est calculée selon un taux unitaire (T) et un coefficient de masse (M). La formule est :

$$R = T \bullet M. \qquad (18)$$

Le coefficient de masse (M) selon le type d'appareil est défini par la masse maximale au décollage de celui-ci en tonnes métriques (MMD) élevé à la puissance 0.85.

$$M = MMD^{0,85}. \qquad (19)$$

La formule (18) peut être réécrite en substituant le facteur (T) par sa valeur numérique fixée à 19.62 $ et en remplaçant le coefficient de masse (M) par l'équation (19).

$$R = 19,62\ \$ \bullet MMD^{0,85}. \qquad (20)$$

4.5.3 Redevances océaniques[29]

La redevance océanique est calculée selon un taux fixe en vol. On distingue deux types de services :

4.5.3.1 Services en route de l'Atlantique Nord (NAT) = 94,21 $,

4.5.3.2 Communication internationales :

4.5.3.2.1 un compte rendu de position par communications vocales = 59,17 $,

4.5.3.2.2 un compte rendu de position par liaison de données = 22,27 $.

---

[29] *Guide des redevances à l'intention des clients*, p. 12.

Les aéronefs de la région de Gander ont à leur disposition des communications internationales à fréquence radio air-sol. Les liaisons de données désignent un vol international autre qu'un vol entre le Canada et le territoire américain.

L'importance de démontrer ce qui distingue ces deux types de tarification réside dans une démonstration possible de discrimination tarifaire de type Ramsey. Bref, les coûts sont-ils entièrement couverts par les utilisateurs de services selon les formules de tarification actuelle? Afin de répondre à la question mentionnée sur la couverture des coûts, une analyse des implications économiques de la tarification s'impose par un exemple concret. Prenons la comparaison entre un Airbus 320 et un Boeing 747-400. En ciel américain, le montant de la redevance (en route) est d'environ de 97,36 $ chacun pour une distance de 538 kilomètres, soit New York-Montréal. Au Canada, la distance Montréal-New York est facturée respectivement à 23,39 $ et 53,82 $ (sans taxe et privilège) pour un Airbus 320 et un Boeing 747-400. Rappelons que ces deux aéronefs ont une capacité respective de 152 et 467 sièges avec un poids de 171 958 et 910 000 livres chacun. D'abord, on remarque que le prix facturé comporte des différences par pays pour un même nombre de kilomètres parcourus. Les variables qui permettent de calculer discriminent soit avec la distance ou avec le poids et la distance.

La question qui s'impose est la suivante « est-ce que les tarifs imposés pour l'utilisation des services de navigation aérienne démontrent une certaine discrimination envers les petits aéronefs en raison du fait qu'un effort comparable est requis pour surveiller un Airbus 320 et un Boeing 747-400 pour une même distance ? » La réponse dépend des conditions de l'espace aérien.

Dans un ciel non congestionné comme dans les Prairies canadiennes (ALSAMA) ou encore la région du Wyoming aux Etats-Unis, on peut affirmer que les petits aéronefs subissent de la discrimination tarifaire. Du point de vue des compagnies aériennes, quelle que soit l'analyse d'un prix américain ou canadien, les conséquences se répercutent par une augmentation de ses coûts qui n'est pas proportionnelle au nombre de passagers à bord. Plus précisément, la redevance du service de navigation aérienne est assumée entièrement par le

transporteur qui, à son tour, la transfère dans le prix du billet. Cette taxe au passager est basée sur un taux d'occupation optimale. Par conséquent, une faible capacité des sièges occupés implique nécessairement que la différence est payée par la compagnie aérienne. De plus, un tarif qui tient compte de la distance engendre des coûts plus élevés aux petits transporteurs puisque la répartition des coûts est basée avec un moins grand nombre d'usagers (passagers). Bref, il est plus dispendieux pour les jets régionaux, comparativement aux gros transporteurs, de parcourir une même distance. La couverture des coûts n'est donc pas juste et équitable entre tous les utilisateurs de service de navigation aérienne. Ce raisonnement est seulement vrai si l'on fait face à une offre de service de contrôle aérien dans un ciel non congestionné. Pour ce qui est des institutions de contrôle de sécurité, puisqu'un écran radar permet de suivre plusieurs aéronefs en même temps, ce sont plutôt les niveaux de congestion aérienne qui peuvent affecter la qualité du service.

En présence de congestion, les contrôleurs aériens doivent redoubler de prudence, car plusieurs règles sont à respecter pour éviter les accidents d'avion en plein ciel. La distance exigée entre différents types d'aéronefs dépend de leur position en vol (section 2.4.2, p.24). Les petits aéronefs sont sujets à être déstabiliser par les gros transporteurs, donc une distance plus grande s'impose pour réduire les effets de la turbulence, tandis qu'une plus petite distance est demandée lorsqu'un gros aéronef suit un plus petit. Un signal est émis au tour de contrôle lorsqu'un pilote dévie des conditions à respecter. Il faudrait accroître les coûts en recherche et développement pour parvenir à des instruments de surveillance plus performants. Pour des raisons reliées à l'ingénierie en aéronautique, la question sur la discrimination n'est pas applicable dans un ciel congestionné.

Pour terminer, le chapitre 5 exploite les données du tableau 4.4.3 dans l'application du prix Ramsey.

CHAPITRE V

APPLICATION PRATIQUE DE L'ÉQUATION RAMSEY

L'aéroport JFK est à l'étude pour les années 2007 et 2008 avec des données mensuelles. La recherche du prix optimal est en lien avec les données de la revue de la littérature. Rappelons que les variables incluses dans la règle de l'élasticité inverse ont été expliquées dans les chapitres précédents. L'objectif de l'expérience est de tenter de savoir si une majoration au-dessus du coût marginal, inversement proportionnelle à l'élasticité de la demande des mouvements des opérations (décollage et atterrissage), arrive à couvrir les coûts totaux du terrain d'aviation. Cette dernière partie vise à interpréter les résultats de l'application Ramsey en dollars américains.

5.1 Expérience empirique

L'ensemble des décollages commerciaux des flottes aériennes est pris en considération mais seulement un échantillon de 59 aéronefs a été sélectionné en fonction de critères de répétition et de fréquences élevées d'utilisation des pistes pour la période de 1990 à 2008. Il n'y a pas de distinction entre le domestique et l'international afin de simplifier les calculs. De plus, les compagnies aériennes American, Delta, US Airways et Northwest, ont fourni les données sur le coût total d'un vol par bloc d'heures. Ensuite, le développement de la règle de Ramsey est basé sur les coûts totaux de l'aéroport et du terrain d'aviation. Ces coûts totaux sont pondérés selon le poids total en livre des aéronefs étudiés par rapport au grand total de livres reçues à l'aéroport JFK. Plus précisément, la formule est adaptée selon une ventilation de ces deux types de coûts totaux pour l'utilisation des services d'atterrissage par aéronef. L'application pratique de Ramsey internalise les coûts des externalités négatives du trafic aérien. Le prix optimal est calculé pour neuf distances différentes exprimées en kilomètres et une élasticité définie selon Devany (1974). Par la suite, la variable du coût total par bloc d'heure est analysée en relation avec la théorie des auteurs étudiés. Pour terminer, nous émettons un constat sur les implications économiques du « coût total par bloc d'heures » dans

l'application pratique de la règle deRamsey et proposons un aperçu sur la part des profits générés par les trois méthodes de tarification.

5.1.1 Les arguments de la fonction Ramsey

Les résultats de l'expérience empirique sont obtenus à partir des variables identifiées par l'équation Ramsey.

$$P_i = \frac{\frac{\partial C}{\partial Q_i} + \frac{k}{\eta_i} TC_i}{1 - k/\eta_i}.$$

k = 0,0888 (fixé par DeVany, 1974)

5.1.2 Les hypothèses

La recherche du prix optimal est sous une hypothèse d'équilibre structurel partiel et d'une économie non compétitive reliée au caractère monopolistique de l'aéroport à l'étude. De plus, JFK est considéré comme non congestionné. La capacité du terrain d'aviation, les flottes et l'espace aérien sont fixes et la capacité est donc élastique. D'autres hypothèses sont aussi maintenues : un modèle sans déficit ni externalité (coût marginal privé = coût marginal social), la capacité est prise comme donnée, l'élasticité croisée égale à 0, il n'y a aucune interdépendance des mouvements sur les pistes (ch. 1) et aucun vol avec escale n'est inclus dans le modèle.

5.1.3 Les variables exploitées dans la règle de Ramsey

Les données concernant les coûts, les mouvements de l'aéroport ainsi que les coûts des transporteurs américains proviennent de *Port Authority of New York & New Jersey*. Rappelons que le modèle Ramsey exploite les variables du coût total annuel du terrain d'aviation basé sur le coût total de l'aéroport JFK, du coût total d'un vol pour une compagnie

aérienne américaine, des élasticités DeVany (1974), des distance en km (500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 et 3500), une valeur de k égale à 0,0888 et du nombre de mouvement par type d'aéronef. *Wide Body Jet* fait référence à Airbus 300-600/R/CF/RCF, Boeing 767-300/ER et Boeing 747-400. *Narrow Body Jet* évalue les résultats des appareils MD-80,1,2,3,7,8 ainsi que Airbus 320-100/200 et Boeing 757-200 alors que *Regional Jet* concerne Embraer-170 et Canadair RJ-100/ER.

5.2 Les résultats Ramsey attendus

Les monopoles chargent des prix supérieurs à leur coût marginal avec une quantité inférieure comparativement à un marché concurrentiel. Une allocation efficace des ressources s'obtient par l'égalisation du prix au coût marginal alors qu'une distribution efficace du bien offert est basée selon les besoins et les préférences des différents utilisateurs. En situation de monopole, la compétition est limitée et, par conséquent, la motivation pour réduire ses coûts n'est pas une priorité. Le coût moyen est donc nécessairement plus élevé. Une production est dite efficace lorsqu'elle s'exécute au point le plus bas de la courbe du coût moyen. À ce stade, on produit davantage au moindre coût, tandis que l'efficacité sociale apparaît lorsque les externalités (congestion) sont prises en compte et que le coût social de la production $(SMC = PMC + EMC)$ égale le bénéfice social (SMB). Selon Marcel Boiteux (1956), les monopoles naturels subissent des pertes si le prix facturé pour l'utilisation des infrastructures égale le coût marginal dans la mesure où le coût moyen diminue. La fixation du prix Ramsey s'avère donc la solution proposée pour contrer ce problème.

Cependant, cette règle de politique pour les monopoles réglementés est choisie seulement si l'on fait face à une situation strictement monopolistique ou de concurrence parfaite, sinon elle est appliquée par segment de marché répondant à ces critères organisationnels. De plus, le prix optimal Ramsey-Boiteux est conforme avec les objectifs gouvernementaux pour une maximisation du bénéfice social sous une contrainte de profit ou de couverture des coûts. Le bénéfice social est composé du surplus du consommateur et du producteur. Il correspond, pour la compagnie aérienne, à l'écart gagné entre le prix payé et à ce qu'elle est prête à débourser pour atterrir alors que pour l'aéroport ce sont les gains supplémentaires obtenus en

vendant à un prix du marché supérieur à ce qu'il serait prêt à vendre. L'importance du prix Ramsey repose sur le fait que c'est un prix économiquement efficace de façon agrégée.

Dans la recherche actuelle, le prix Ramsey s'apparente étroitement à une taxation optimale des services aéronautiques, taxation appliquée à l'aéroport JFK. Les gestionnaires visent à maximiser le surplus de la compagnie aérienne (le consommateur) tout en assurant une couverture complète de ses coûts. Selon Ramsey, une réponse simultanée à ces deux objectifs s'obtient par des majorations inversement proportionnelles à l'élasticité-prix des demandes au-dessus du coût marginal. Ces majorations peuvent agir comme une taxe sur les externalités négatives reliées au transport aérien et elle peut différer entre catégories d'utilisateurs. Généralement, une taxe égalise le coût marginal privé au coût marginal social, c'est-à-dire un *1st Best* socialement efficace. De plus, une taxe réduit les déficits et les besoins en subventions. Dans ce cas-ci, une telle taxe a pour avantage d'inciter les utilisateurs d'infrastructures à opter pour des comportements faisant en sorte de réduire leurs coûts d'externalités telle la congestion, bien qu'elles soient difficiles à évaluer. Autrement, les revenus supplémentaires générés sont à la disposition des gouvernements qui peuvent en faire usage à leur guise.

Cependant, des interrogations s'imposent : par exemple, à combien doit-on fixer le niveau de taxation afin de minimiser la décroissance de l'utilité et la perte en bien-être? Ces majorations inversement proportionnelles à l'élasticité-prix de la demande[30] des passagers sont des indicateurs du niveau de taxation. Les préférences et la volonté de payer sont quantifiées par le calcul des élasticités selon le temps utilisé par un aéronef. Donc, la distance a une influence décisive dans le comportement de l'élasticité.

Les élasticités-prix de la demande mesurent la variation en pourcentage de la quantité demandée du service d'infrastructure relative à une variation en pourcentage de son prix. Les majorations sont supérieures pour les productions avec une faible élasticité de la demande. En d'autres mots, la demande est très inélastique si les consommateurs sont prêts à se procurer le service, et ce, peu importe son prix. Une augmentation des taxes a peu d'impact

[30] La demande des passagers correspond indirectement à la demande des services d'usage des pistes par les aéronefs.

sur la quantité demandée. En opposition, une demande élastique signifie qu'une augmentation du prix par le producteur va affecter grandement la demande pour son produit. Avec une demande très élastique, les acheteurs sont sensibles au prix, car s'ils jugeaient que le prix était trop élevé comparativement à ce qu'ils sont prêts à payer, ils ne se procureraient pas le bien. Dans le transport aérien, les vols de plus de 960 kilomètres se caractérisent par une élasticité de la demande des passagers supérieure à un mais non infinie. Les vols de longues distances servent plus souvent une clientèle touristique et, en conséquence, les passagers ont toujours la possibilité de retarder leur départ en fonction du prix, alors que l'élasticité de la demande d'atterrissage (ou décollage) est inélastique. Les grands transporteurs ont des contraintes plus sévères au niveau de la logistique. Le choix d'un aéroport pour effectuer un atterrissage doit satisfaire les caractéristiques techniques plus exigeantes des aéronefs. Les aéroports n'ont pas tous une vocation à caractère international. Les compagnies aériennes font face à une offre en service aéronautique segmentée par l'international et le domestique. Par conséquent, la substitution du produit est limitée. Ce raisonnement est inversé pour les vols de courtes distances.

L'expérience empirique qui suit devrait répondre à un certains nombres de questions. Un prix optimal apporte-t-il un meilleur rendement qu'un prix qui discrimine en fonction du poids? Le bénéfice des aéroports est-il maximisé comparativement à la redevance actuelle? Du moins, la réalisation pratique de l'équation Ramsey permettra de confirmer ou d'infirmer certaines hypothèses imposées par les auteurs étudiés.

5.3 Les résultats obtenus

L'application mathématique du problème d'optimisation sous contrainte et en respect aux hypothèses énumérées en 5.1.2 a exigé plusieurs manipulations et conversions des données afin de respecter les unités de mesures, telles que les milles vers les kilomètres, les tonnes et kilogrammes vers les livres ainsi que les dollars par mille vers les dollars par kilomètre. Ensuite, les données réelles des variables n'ont permis d'arriver que partiellement aux résultats des auteurs. Les prix pour chaque aéronef augmentent effectivement avec la distance, étant donné la croissance de l'élasticité de la demande des passagers. Les

explications sont toutes énumérées dans la section 5.2. Par contre, la comparaison des comportements des prix Ramsey entre les différents types d'aéronefs semble différer de la tendance attendue. Les auteurs ont choisi des aéronefs avec des poids et des coûts par bloc d'heure croissants. Par conséquent, les résultats respectent la théorie du prix optimal. Cependant, le calcul du coût total par aéronef pour chacune des distances à l'étude pose problème. Avant même de procéder à l'application pratique du modèle, on peut constater que les résultats vont dégager des conclusions en partie différentes. On retrouve dans la réalité des aéronefs dont le poids est plus lourd mais avec un coût par bloc d'heures moins élevé qu'un autre plus léger. Par exemple, le tableau suivant affiche les coûts pour chacun des aéronefs à l'étude.

5.3.1 Coût par bloc d'heures

Aéronefs	Poids (livres)	Coût par bloc d'heures
BOEING 747-400	910 000	14 259 $
BOEING 767-300/ER	412 866	7 105 $
A300-600/R/CF/RCF	372 860	8 807 $
BOEING 757-200	257 235	4 643 $
AIRBUS 320-100/200	171 958	4 237 $
MD-80,1,2,3,7,8	148 083	3 975 $
EMBRAER 170	82 012	2 145 $
CANADAIR RJ-100/ER	53 000	1 976 $
EMBRAER-135	44 092	1 548 $

Source : *Port Authority of New York & New Jersey*.

Les coûts par bloc d'heures de la plupart des types d'aéronefs ont tendance à croître avec le poids. Cependant, on remarque que le coût par bloc d'heures est respectivement 7105 $ et 8807 $ pour B767-300 et A300-600 malgré un poids plus important pour le Boeing. Ces données causent problème dans l'interprétation des résultats Ramsey. De plus, si l'on voulait aller plus loin dans ces différences, le coût par kilomètre démontrerait aussi ce type de relation. À la fin, ce comportement dépend de la distance complète parcourue par un aéronef type ainsi que de son coût par bloc d'heures. Rappelons que ce concept est défini par les coûts d'un déplacement à partir du moment où l'avion commence à se mouvoir (au

décollage) au sol jusqu'à son arrêt complet (à l'atterrissage). Cette conclusion est peut-être due au fait que les données sont microéconomiques.

Ensuite, après plusieurs discussions avec M. Quayson, *manager of aviation forecasting* de *Port Authority of New York & New Jersey*, nous constatons que le fait de vouloir calculer le coût total par aéronefs pour différentes distances impose une exigence très complexe. Un bloc d'heures est composé de plusieurs variables telles que les coûts en kérosène, d'équipage, d'aéronef, d'entretien, d'assurances et de taxes, et ce, pour la durée d'un vol par type d'aéronef. Les délais d'attente au sol peuvent augmenter les coûts puisqu'ils sont calculés à l'heure. Afin d'associer un coût représentatif payé par les compagnies aériennes pour un nombre particulier de kilomètres parcourus, il est suggéré d'associer la variable « distance en kilomètres » directement à chacune des composantes du coût par bloc d'heures. Les tentatives pour isoler la « distance en kilomètres » du coût par bloc d'heures va engendrer des distorsions dans le calcul final du coût total par aéronef.

Le constat de la variable « coût total par bloc d'heures » a imposé une vérification plus détaillée auprès de plusieurs compagnies aériennes opérant à JFK. Il arrive que les coûts proviennent de différentes compagnies aériennes puisque la composition d'une flotte n'est pas identique pour chacune. Toutefois, les données disponibles valident le tableau 5.3.1. L'expérience empirique se poursuit donc afin de permettre la comparaison entre le prix Ramsey et la redevance d'atterrissage.

L'application pratique de l'équation Ramsey s'est avérée une tâche difficile en raison de la complexité de l'industrie aérienne et de l'interprétation des données brutes. Le modèle de Ramsey est exécuté à partir des coûts totaux de l'aéroport et du terrain d'aviation ainsi que le nombre total d'opérations (décollage et atterrissage). Il est important de mentionner que les résultats respectent la théorie. Effectivement, le prix est légèrement supérieur au coût marginal et l'écart s'accroît à mesure que la distance augmente puisque la demande en droit d'atterrissage est inélastique. Les calculs sont basés sur un coût marginal spécifique à chacun des types d'aéronefs, en assumant le coût total (aéroport et terrain d'aviation) fixe. Par conséquent, les prix Ramsey calculés sont de court terme (ch.1). Les calculs s'effectuent par

une pondération des coûts établis selon le poids total de l'aéronef spécifique par rapport au grand total du poids en livre accueilli sur les pistes de JFK. Le coût total par bloc d'heures pour les aéronefs de classe *Wide Body Jet* est toutefois à revoir. Nous avons comptabilisé dans un tableau les prix Ramsey obtenus afin de constater les écarts dans les résultats.

5.3.2 Prix ($) Ramsey basé sur le *coût total de l'aéroport* JFK

Aéronefs	*500*	*1000*	*1500*	*2000*	*2500*	*3000*	*3500*
BOEING 747-400	2902,20	3611,86	4286,44	4990,62	5686,11	6377,02	7076,75
BOEING 767-300/ER	1393,50	1783,15	2153,19	2539,02	2920,07	3298,57	3681,85
A300-600/R/CF/RCF	1510,09	2083,76	2627,64	3193,51	3752,27	4307,24	4869,05
BOEING 757-200	938,98	1244,12	1533,64	1835,18	2132,95	2428,72	2728,17
A320-100/200	712,51	991,24	1255,47	1530,32	1801,73	2071,29	2344,16
MD-80,1,2,3,7,8	657,64	936,51	1200,77	1475,54	1746,85	2016,30	2289,06
EMBRAER 170	378,47	545,49	703,73	868.23	1030,65	1191,96	1355,25
CANADAIR RJ-100/ER	350,98	552,70	743,63	941,87	1137,60	1331,97	1528,69

Source : Nos propres calculs du prix Ramsey.

* Prix Ramsey de court terme en dollar américain de 2008.

Un calcul basé sur les coûts du terrain d'aviation s'avère à donner de meilleurs résultats tel que l'avait mentionné les auteurs étudiés dans la littérature. Cette valeur du prix Ramsey semble mieux refléter le tarif actuel.

5.3.3 Prix ($) Ramsey basé sur le *coût total du terrain d'aviation* de l'aéroport JFK

Aéronefs	*500*	*1000*	*1500*	*2000*	*2500*	*3000*	*3500*
BOEING 747-400	1176,46	1894,78	2574,58	3280,26	3976,97	4668,83	5369,04
BOEING 767-300/ER	610,54	1004,11	1376,53	1763,04	2144,63	2523,57	2907,06
A300-600/R/CF/RCF	802,99	1380,20	1926,22	2492,70	3051,97	3607,32	4169,33
BOEING 757-200	451,15	758,73	1049,74	1351,70	1649,81	1945,85	2245,44
A320-100/200	386,40	666,77	931,98	1207,13	1478,76	1748,50	2021,47
MD-80,1,2,3,7,8	376,82	657,10	922,21	1197,22	1468,73	1738,34	2011,17
EMBRAER 170	222,94	390,74	549,45	714,08	876,62	1038,02	1201,34
CANADAIR RJ-100/ER	250,47	452,68	643,92	842,25	1038,05	1232,48	1429,22

Source : Nos propres calculs du prix Ramsey.

* Prix Ramsey de court terme en dollar américain de 2008.

La problématique du coût total par bloc d'heures apparaît constamment dans la relation entre B767-300 et A300-600 mais est absente pour les autres types d'aéronefs. Notons que le nombre d'opération est largement supérieur pour B767-300. Ensuite, par une approche plus

détaillée, on remarque que Canadair RJ-100/ER exprime généralement un prix supérieur à Embraer 170. Cette tendance est due au fait que le nombre d'opérations est nettement plus élevé et qu'en conséquence, la part des coûts du Canadair RJ-100/ER est plus significative par rapport à Embraer 170. Canadair RJ-100/ER est aussi en tête de liste dans sa catégorie, *Regional Jet*. De plus, le faible écart entre le coût total par bloc d'heures entre certains types d'aéronef amène des différences de prix minimes dans une même classe. D'autres calculs ont permis de constater que les prix Ramsey, calculés en fonction des mouvements de décollage, sont légèrement inférieurs aux prix obtenus en référence à l'ensemble des mouvements (atterrissage et décollage).

En dépit du fait que le coût total par bloc d'heures n'affiche pas une décroissance constante à mesure que le poids diminue, on constate que les trois classes d'aéronefs respectent entièrement la règle de Ramsey. Dans l'ensemble, *Wide Body Jet* est facturé plus cher que *Narrow Body Jet* alors que les prix de *Regional Jet* sont les moins élevés. Ces résultats sont en accord avec la revue de littérature.

Il est raisonnable de comparer ces prix Ramsey relativement à une distance minimale parcourue puisque les gros transporteurs ne parcourent pas de petites distances et l'inverse est vrai pour les petits aéronefs. Sachant que *Wide Body Jet* (B747, B767 et A300), *Narrow Body Jet* (B757, A320 et MD-80) et *Regional Jet* (E170 et RJ-100) naviguent respectivement en moyenne 3000 km, 1500 km et 500 km, le tableau 5.3.4 affiche les prix Ramsey sélectionnés en fonction d'une distance représentative avec le tarif actuel.

5.3.4 Prix Ramsey en comparaison avec le tarif actuel pour une distance cohérente

				Prix Ramsey		
Aéronef	**Poids**	**Sièges**	**Distance**	**Aéroport**	**Terrain d'aviation**	**Tarif actuel**
BOEING 747-400	910 000	467	3000	6377,02 $	4668,83 $	4176,90 $
BOEING 767-300/ER	412 866	220	3000	3298,57 $	2523,57 $	1895,05 $
A300-600/R/CF/RCF	372 860	266	3000	4307,24 $	3607,32 $	1711,43 $
BOEING 757-200	257 235	160	1500	1533,64 $	1049,74 $	1180,71 $
A320-100/200	171 958	164	1500	1255,47 $	931,98 $	789,29 $
MD-80,1,2,3,7,8	148 083	141	1500	1200,77 $	922,21 $	679,70 $
EMBRAER 170	82 012	80	500	378,47 $	222,94 $	376,44 $
CANADAIR RJ-100/ER	53 000	50	500	350,98 $	250,47 $	243,27 $

Source : Nos calculs (prix Ramsey) et *Port Authority of New York & New Jersey* (tarif actuel).

La tarification actuelle est en référence au tableau 4.4.3. Les résultats démontrent que le tarif actuel d'un Boeing 747-400 est de 4176,90 $ soit un écart de 2200,12 $ et de 491,93 $ avec le prix Ramsey-aéroport et Ramsey-terrain d'aviation. Ensuite, on obtient un écart de 352,93 $ et 130,97 $ avec un tarif actuel de 1180,71 $ pour le Boeing 757-200. Il s'agit d'une différence de 107,71 $ et 7,20 $ avec le tarif actuel de Canadair RJ-100/ER. Cependant, on remarque une différence positive de 25,46 $ mais un écart négatif de 153,50 $ pour une distance de 500 km avec le tarif actuel de Embraer 170. Les résultats pour Embraer 170 redeviennent positifs à partir de 1000 km. Nous pourrions établir la comparaison entre le prix Ramsey et le tarif actuel pour chacune des distances.

Ces résultats démontrent la performance générale du modèle avec un prix Ramsey calculé sur la base des coûts totaux du terrain d'aviation puisqu'il se rapproche davantage de la réalité. Une revue des hypothèses de base est toutefois nécessaire pour amener une réussite plus complète.

Il est intéressant de calculer si la part des coûts est effectivement couverte par les différents prix. Le tableau 5.3.5 démontre les bénéfices en dollar américain de 2008 après la couverture des coûts en fonction des prix affichés au tableau 5.3.4.

5.3.5 Bénéfice par aéronef en fonction du type de tarification

	Bénéfice ($)		
Aéronefs	**Tarif actuel**	**Ramsey-aéroport**	**Ramsey-terrain d'aviation**
BOEING 747-400	2268,14 $	4468,26 $	4339,78 $
BOEING 767-300/ER	1029,05 $	2432,57 $	2374,28 $
A300-600/R/CF/RCF	929,34 $	3525,15 $	3472,50 $
BOEING 757-200	641,15 $	994,08 $	956,73 $
A320-100/200	428,60 $	717,24 $	692,27 $
MD-80,1,2,3,7,8	369,09 $	890,16 $	868,66 $
EMBRAER 170	204,42 $	206,45 $	193,29 $
CANADAIR RJ-100/ER	132,10 $	239,81 $	231,31 $

Source : Nos calculs (revenus) et *Port Authority of New York & New Jersey* (part des coûts par aéronefs).

* Bénéfice = Revenu total ($) par aéronef ─ Coût total ($) par aéronef.

Rappelons que les calculs sont établis en fonction des coûts totaux de l'aéroport pour le tarif actuel et le prix Ramsey-aéroport alors que les coûts totaux du terrain d'aviation sont utilisés pour le prix Ramsey-terrain d'aviation (p.77). On constate dans le tableau 5.3.5 que tous les revenus couvrent considérablement les coûts, et ce, peu importe le type de tarification. L'application de la règle de Ramsey-aéroport et Ramsey-terrain d'aviation engendre un surplus supérieur relativement à la méthode de tarification actuellement utilisée. Par contre, Embraer perd presque 6 % des gains gagnés par le tarif actuel à l'aéroport JFK si l'on imposait un prix Ramsey-terrain d'aviation. Cette diminution est expliquée par un nombre peu élevé d'opérations.

On peut tirer comme conclusion que l'aéroport génère suffisamment de revenu en appliquant le tarif actuel par type d'aéronef. Dans le cas où il voudrait maximiser encore plus ses profits, la fixation d'un prix Ramsey semble une alternative intéressante mais des considérations techniques et théoriques sont recommandées.

5.4 Un modèle amélioré

Cette étude sur la tarification des infrastructures aéronautiques est une représentation simple de la réalité afin de faciliter la compréhension de la problématique de fixation des prix d'usage. Un modèle plus complexe intègre des variables, telles que la pollution atmosphérique et sonore des aéronefs, ainsi que les effets externes de la congestion afin d'atteindre et connaître le niveau économique socialement optimal. De plus, la considération des autres types de redevances aéroportuaires reliées aux mouvements des aéronefs et des passagers apporterait un point de vue plus global des impacts de la tarification appliquée.

Dans le cadre de ce mémoire, le prix du marché domestique est étudié puisque le volume de mouvement à JFK est plus important; cependant une distinction avec l'international aurait pu être possible. Une réévaluation des calculs d'élasticité de DeVany (1974) est aussi suggérée. Finalement, la suite de ce mémoire serait un examen individuel des indicateurs économiques du côté du terminal afin de procéder à une analyse croisée avec le côté piste. En plus, d'une étude en profondeur sur la fonction de coût des transporteurs. La nécessité en subventions gouvernementales pourrait alors être mieux justifiée par des conclusions plus précises.

Évidemment, l'exercice de cette recherche s'applique aussi au service de contrôle aérien afin de rendre possible une intégration économique du service des aéroports.

CONCLUSION

Cette recherche était en forme de pyramide inversée en raison de la complexité de l'industrie aérienne. Une description plus générale jusque dans ses moindres détails a permis de comprendre cet environnement économique. Le point de départ a été l'ÉTS (École de technologie supérieure), l'OACI et IATA en raison du fait que certaines informations pertinentes avec la rédaction de ce mémoire étaient peu publiées. L'objectif principal de cette étude était de démontrer s'il y avait discrimination des prix dans l'usage des services aéronautiques pour des aéroports congestionnés et non congestionnés tout en établissant un parallèle avec la situation du service de navigation aérienne afin d'y apporter le même raisonnement. Les données disponibles sur tous les sites statistiques étaient trop agrégées pour conduire correctement cette étude. Après plusieurs démarches et rencontres avec des experts, l'aéroport John F. Kennedy International a été le point de mire pour évaluer les répercussions financières du constat. Les statistiques de *Port Authority of New York & New Jersey* ont été d'une grande utilité pour dresser le portrait économique des vingt dernières années de JFK et pour appliquer la théorie des auteurs étudiés. Plusieurs textes de mathématiciens et d'économistes ont été analysés pour nuancer les différents coûts et leur manipulation ainsi que l'exploitation de leur méthode de calcul de tarification pour l'usage du terrain d'aviation. Parmi eux, Frank Plumpton Ramsey est la source d'inspiration pour appliquer un prix optimal plus rentable. Malheureusement, sa courte existence n'a laissé qu'une œuvre inachevée en héritage. Plus tard, les principes de la règle de l'élasticité inverse sont repris et adaptés à la période en cours ainsi qu'au monde de l'aviation. Cette recherche repose principalement sur les études de Cejas, Rendeiro (1997), Morisson (1982), Oum, Tretheway et Gillen (1988), car ils ont tous validé l'approche de Ramsey en se basant sur les calculs de l'élasticité de la demande de DeVany. L'environnement dans lequel les aéronefs évoluent a été enrichi par un texte de Levine (1969) sur l'aspect technique.

Ce mémoire était divisé en trois parties. La première était de définir l'environnement économique de l'industrie aérienne ainsi que les principes de tarification. Ensuite, nous avons cherché à savoir s'il y avait discrimination ou non dans une tarification basée sur le

poids des aéronefs pour l'usage des pistes. Enfin, nous avons terminé avec une application pratique de la règle de Ramsey afin de connaître l'impact financier réel sur les indicateurs économiques de l'aéroport JFK et conclure sur la crédibilité de sa performance.

La réponse à la première question s'avère qu'une tarification qui discrimine en fonction de la masse maximale au décollage pour l'usage des pistes est économiquement efficace à l'aéroport JFK en dehors des heures de pointe. Par contre, lorsqu'il y a congestion, ce type de tarification n'est pas efficace, car le poids ne figure pas comme un bon représentant des retards, les délais imposés sur les autres étant basés sur la relation entre la vitesse, la distance et le temps pour chacun des aéronefs. La preuve a été faite par la différence entre le prix unitaire facturé par aéronef et le coût moyen de l'aéroport étudié. On constate une croissance des pertes financières en présence de congestion. Donc, une réévaluation des variables impliquées dans le calcul de la tarification est nécessaire pour ajuster le déséquilibre. Par conséquent, l'efficacité économique serait plus optimale.

En deuxième lieu, l'application du prix Ramsey a démontré des problèmes dans les données afin d'obtenir des résultats concrets. Elle semble pour l'instant fonctionner avec les interprétations du prix avec la distance mais ne répond pas aux mêmes conclusions des auteurs dans la comparaison du comportement des prix entre aéronefs. La raison en est que certains poids sont élevés mais avec un coût par bloc d'heures inférieur par rapport à des avions plus légers. Cette constatation a été identifiée plus d'une fois. Une des raisons possible peut être expliquée par le fait que les données proviennent seulement de quelques compagnies aériennes servant l'aéroport JFK en 2008 et qu'une moyenne plus macroéconomique qui répartirait par classe et non par type d'aéronef aiderait sûrement à atteindre de meilleurs résultats. De plus, les spécificités des aéronefs étudiées par rapport aux années concernées par la littérature économique ainsi que la situation économique de l'industrie aérienne n'est sûrement pas sans effet.

La poursuite des objectifs de la règle de l'élasticité inverse s'est toutefois concrétisée puisqu'elle fonctionne bien, globalement, par grandes catégories d'aéronefs. Les conclusions sont cohérentes avec les auteurs. On découvre toutefois que le nombre total de mouvement peut engendrer des différences dans le prix Ramsey par type d'aéronef. Les résultats finaux

ont démontré que le prix Ramsey apporte un meilleur rendement qu'un prix qui discrimine en fonction du poids et que le bénéfice des aéroports est grandement maximisé comparativement à la redevance actuelle.

Finalement, ce travail laborieux représente une synthèse d'informations utiles pour l'évaluation de l'industrie aérienne. Plusieurs éléments de pistes sont fournis. Une prochaine étape serait d'étudier la composition des coûts des transporteurs aériens et de porter une réflexion profonde sur la manière de mieux répartir les routes aériennes pour réduire les engorgements aériens. Actuellement, des prix élevés sont facturés aux compagnies aériennes afin qu'ils obtiennent priorité sur des trajectoires spécifiques, ce qui n'est pas sans conséquence sur la compétitivité. En ce qui a trait à la congestion, les droits de passage devraient être abolis pour réduire les coûts politiques au détriment de l'augmentation du prix du baril de pétrole. Pour terminer, la réalisation d'un système de tarification conjointe entre les services des aéroports et de navigation aérienne rendrait plus plausible la réalité d'un ciel unique.

RÉFÉRENCES

Afifa. 2002. Note du cours *Analyse économique*, enseigné à l'Uqam.

A.I.P. Canada. 2009 TP2300F, Transport Canada Sécurité et sûreté p. AGA 3-3.

Airport IQ 5010. 2009. En ligne.
<www.gcr1.com/5010web/airport.cfm?Site=JFK>.

A.I.P. Canada. 2009. En ligne.
<www.tc.gc.ca/AviationCivile/internationale/technique/Chaussees/qualite/derapage.hm>.

Air Transport Intelligence. 26 février 1998. ITA. *In a few words.*

Baumol, W.J., et D.F. Bradford. June 1970. «Optimal departures from marginal cost pricing». *American Economic Review*, 60, pp. 265-283.

Baumol, Panzar, et Willig. 1982. «Contestable markets and the theory of industry». *New York: Harcourt Brace Jovanovich*.

Becker, S. Sept. 1965. «A theory of the allocation of time». *Economic Journal*, pp.493-517.

Boiteux, M. 1956. «Sur la question des monopoles publics astreints à l'équilibre budgétaire». *Econometrica*, 24, pp. 22-40. Traduit et réimprimé dans le *Journal of Economic Theory*, 3, pp.219-240.

Boyer, M. ; Moreaux, M. et Truchon, M. 2002. «Partage des coûts et tarification des infrastructures : Enjeux, problématique et pertinence». *Rapport Bourgogne*. Cyrano-RP17.

Braeutigam, R.R. march 1979. «Optimal pricing with intermodal competition». *American Economic Review*, vol. 69, pp. 38-49.

Braeutigam, R.R. Spring 1984. «Socially optimal pricing with rivalry and economics of scale». *Rand Journal of Economic*, vol. 15, no. 1, pp. 127-134.

Brown, S & W. Watkins. Aug. 1971. «Measuring elasticities of air travel from new cross-sectional Data». *Civil Aeronautics Board Staff paper*.

Cejas, Martin et Rendeiro Roberto. 1997. «Airport pricing systems in Europe and an application of Ramsey pricing to Spanish airports». *Departamento de Economia Aplicada, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*, Spain.

Conférence sur l'économie des aéroports et des services de navigation aérienne. « Tarification au coût marginal ». ANSConf-WP/80, 5/6/00, point 5.2.

Damus, S. 1984. «Ramsey pricing by US railroads». *Journal of Transport Economics and policy*, vol.18 (1), pp. 51-61.

De Neufville, R. et Odoni, A. 2003. «Airport systems: planning, design and management». *Aviation week.*

DeVany,A. August 1970. «Time in the budget of the consumer: The theory of consumer demand and labor supply under a time constraint». unpublished Ph.D., dissertation, University of California, Los Angeles.

DeVany,A. 1974. « The revealed value of time in air travel». *The Review of Economics and Statistics*, pp. 77-82.

Doganis, R. 1992. *The Airport Business.* Routledge Editions, London.

Eads, G. and P.K. Verleger. Dec. 1971. «Statistical biases in aggregate time series of the demand for air travel». *Proceeding of the American Statistical Association*.

Federal Aviation Administration. 2009. FAA. En ligne. <http://www.faa.gov/>.

Federal Aviation Administration. 2009. FAA. En ligne. <http://www.faa.gov/airports_airtraffic/>.

Friedlaender, A. may 1981. «Price distorsions and second best investment rules in the transportation industries». *American Economic Review*, vol. 71, no 2, pp. 172-178.

Gouvernement du Canada. 2009. En ligne. <http://canadagazette.gc.ca/partI/2006/20060909/html/regle26-f.html>.

Gronau, R. 1970. «The value of time in passager transportation : the demand for air travel». *National Bureau of Economic Research, New York*, Occasional Paper no. 109.

International Civil Aviation Organization. 2009. ICAO. En ligne. <www.icao.int/icao/en/trivia/freedoms_air.htm>.

International Civil Aviation Organization. 2008. ICAO. *Airport Economics Manual*. Document 9082, section 3.

International Civil Aviation Organization. 2006. ICAO. *Tariffs for airports and air navigation services*, Édition 2006, approved by the Secretary General and published under his authority.

International Civil Aviation Organization. 2009. ICAO. En ligne. <http://www.icao.int/index_f.html>.

Kaplan, Daniel P. 2006. «Toward rational pricing of the US airport and airways system». *Advances in Airline Economics*, vol.2, p. 75.

Lee, Darin. 2007. *Advances in Airline Economics, volume 1*. Elsevier B.V.

Lee, Darin. 2006. *Advances in Airline Economics, volume 2*. Elsevier B.V.

Levine, M.E. 1969. «Landing fees and the airport congestion problem». *The Journal of Law and Economics*, 12, pp. 79-108.

Linder, S. 1970. «The theory of the harried leisure class». *New York: Columbia University Press*.

Lipsey, R. G., et K. Lancaster. January 1956. «The general theory of second best. ». *Review of Economic Studies*, vol. 24, pp. 11-32.

Ministre des Approvisionnements et Services. [Hyndman, L.D. *et al.*]. 1992. Directions : *Le rapport final de la commission royale sur le transport des voyageurs au Canada*. Ottawa, Canada, 1946 p. Téléchargeable du site Agora Jules Dupuit. <www.e-ajd.net>.

Ministère des Transports. 2007. *Direction du transport maritime, aérien et ferroviaire*. Service du transport aérien. R589.1P1. JMSB.

Morisson, S.A. 1982. «The structure of landing fees at uncongested airports». *Journal of Transport Economics and Policy*, May. 151-159.

NAVCANADA. 1er septembre 2007-2008. *Guide des redevances à l'intention des clients*. En ligne.<http://www.navcanada.ca/NavCanada.asp?Language=fr&Content=ContentDefinitionFiles/Services/ChargesAndAdmin/guidetocharges/default.xml>.

Organisation de l'aviation civile internationale. 12 juillet 2007. OACI. *Case Study: Canada.*

Organisation de l'aviation civile internationale. 2007. OACI. *Manual on the Regulation of International Air Transport.* Doc 9626, Part 4.

Office des transports du Canada. 2009. En ligne. <www.cta-otc.gc.ca/rulings-decisions/decisions/1991/A/74-A-1991_f.html>.

Office fédéral de l'aviation civile. 2009. OFAC » En ligne. <http://www.bazl.admin.ch/index.html?lang=fr >.

Organisation des Nations Unies. 2009. ONU. En ligne. <http://www.un.org/french/>.

Oum, T., Tretheway, M. and Gillen, D.W. 1987. «Airport Pricing Policies: An Application to Canadian Airports». *Canadian Transportation Research Forum Proceedings*.

Oum, T. and Tretheway, M. September 1988. «Ramsey pricing in the presence of externality costs». *Journal of Transport Economics and Policy*, pp. 307-317.

Owen, G. 1969. «Game theory». *San Diego, CA: Academic Press*.

Ramsey. 1927. «A contribution to the theory of taxation». *Economic Journal*, 37, pp. 47-61.

Robbins, L. June 1930. «On the elasticity of demand for income in terms of effort». *Economica*, pp. 123-129.

Sandmo, A. 1975. «Optimal taxation in the presence of externalities». *Swedish Journal of Economics*, pp. 86-98.

Sylvain Four, Céline Guivarch et Xavier Lafon. 2004. «Marché des déplacements interrégionaux et internationaux de voyageurs» (sur la valeur du temps)». École Nationale des Ponts et des Chaussées. Cours de Mme N. Lenoir.

Taplin, J.H.E. et W.G. Waters II. Dec.1985. «Boiteux-Ramsey pricing of road and rail under a single budget constraint». *Australian Economic Paper*, pp. 337-349.

Transport Canada. 2009. En ligne. <http://www.tc.gc.ca/medias/documents/b01-A100.htm>.

Walters, A.A. May 1978. «Airports- An economic survey». *Journal of transport economics and policy*, XII, pp. 125-160.

Wikipedia. 2009. En ligne. <http://en.wikipedia.org/wiki/United_States_Census>.

Wikipedia. 2009. En ligne. <http://en.wikipedia.org>.

Wikipedia. 2009. En ligne. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Orthodromie >.

Wikipedia. 2009. En ligne.
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Train_d'atterrissage#Diff.C3.A9rents_types_de_trains_d.27atterrissage>.

Winston, C. 1981. «The welfare effects of ICC regulation revisited». *Bell Journal of Economics*, 12(1), pp. 233-44.

Wrobel, André. 1997. «Airport charges in Europe». *Studies reports ITA*, 1997 (ISSN 1011-615X).