18

POLITIQUES DE PRIX ET POLITIQUES D'INVESTISSEMENT DANS LES AÉROPORTS

A. Cubukgil,* S. Borins** et M. Hoen*
Novembre 1991

1. INTRODUCTION

La planification et la gestion des aéroports canadiens sont deux principales responsabilités qui incombent à Transports Canada. La valeur de remplacement des aéroports que possède le gouvernement fédéral, sans compter celle des terrains, est supérieure à 10 milliards de dollars. Au cours de l'année financière 1988-1989, le Groupe de gestion des aéroports du Ministère a investi 247 millions de dollars au titre de l'agrandissement, de la remise en état et de l'amélioration des installations aéroportuaires au pays. L'aérogare 3 de l'aéroport international Pearson, financée par le secteur privé, a coûté 550 millions de dollars. La construction proposée de trois nouvelles pistes à Pearson devrait coûter 469 millions de dollars supplémentaires. Comme on peut s'en douter, les investissements de cet ordre nécessitent une prise de décisions sages et bien informées.

La présente étude aborde la planification aéroportuaire du point de vue économique, surtout pour ce qui est des politiques ayant pour objet d'optimiser l'affectation des ressources aux aéroports canadiens. L'exploitation de la capacité actuelle, examinée ici sous l'angle de la politique des prix, est justement l'une des facettes de l'affectation des ressources. La seconde

* Transmode Consultants Inc.
** Université de Toronto.

facette, quant à elle, consiste à construire de nouvelles installations ou à accroître la capacité de celles qui existent, ce que nous aborderons dans notre analyse de la «problématique de l'investissement». En théorie, ces aspects sont les deux côtés d'une même pièce, mais du point de vue plus pratique de la politique, il importe de s'arrêter à ce qui les distingue.

Le rapport s'ouvre par un survol de l'évolution de la planification aéroportuaire au Canada, plus précisément par une brève genèse institutionnelle , suivie par un coup d'oeil sur le paradigme de planification physique qui prévaut actuellement et par une analyse des trois principaux piliers sur lesquels repose l'actuel cadre d'orientation du gouvernement en matière d'infrastructures aéroportuaires, à savoir le transfert de responsabilité, le recouvrement des coûts et les évaluations environnementales. La troisième partie du rapport traite de la problématique de l'investissement, tout d'abord du point de vue théorique, puis du point de vue pratique par l'analyse de deux études de cas récents (analyses coûts-avantages effectuées au sujet de l'accroissement de la capacité des pistes aux aéroports internationaux de Toronto et de Vancouver). La quatrième partie, porte sur la question de l'établissement des prix et s'accompagne d'un survol théorique, suivi d'une évaluation d'autres politiques de prix envisageables, ainsi que des pratiques actuelles. Enfin, la conclusion du rapport recommande l'adoption d'un cadre d'analyse coûts-avantages permanent, intégré au processus de planification aéroportuaire, non seulement pour tout ce qui touche aux politiques de prix et d'investissement, mais aussi afin d'atténuer l'incidence des facteurs externes.

2. ÉVOLUTION DE LA PLANIFICATION DES AÉROPORTS AU CANADA

Afin de resituer l'exploitation des aéroports au Canada dans son contexte institutionnel et politique, nous nous proposons de commencer par un bref historique institutionnel. Nous pourrons ensuite passer à une analyse plus détaillée du processus de planification aéroportuaire au Canada, notamment des méthodes de planification des infrastructures, lesquelles obéissent à une tradition qui n'a en rien favorisé l'efficacité économique. Enfin, dans notre discussion de la politique actuelle, nous nous arrêterons aux trois principaux aspects de la politique fédérale en matière d'aéroports, à savoir le transfert des responsabilités, le recouvrement des coûts et les évaluations environnementales.

2.1 GENÈSE INSTITUTIONNELLE

Des années 1960 au milieu des années 1980, les aéroports relevaient de la responsabilité de l'Administration canadienne du transport aérien (ACTA), qui faisait partie de Transports Canada. Les investissements aéroportuaires étaient financés grâce au budget d'immobilisations de l'ACTA, qui était négocié auprès du Conseil du Trésor. Certes, les aéroports rapportaient des recettes, surtout sous la forme de droits d'atterrissage et de droits de location des espaces dans les aérogares, mais ce n'est que dans les grands aéroports que ces recettes permettaient de couvrir les coûts d'exploitation et d'entretien.

On n'exigeait pas alors que les aéroports s'autofinancent, point s'en faut. Les recettes étaient versées au Trésor qui payait les dépenses, et il n'existait aucun lien entre ces deux aspects. Les coûts du système de navigation aérienne, traités séparément de ceux des aéroports, étaient également payés par le Trésor.

À cette époque, les groupes professionnels qui dominaient à l'ACTA étaient constitués de spécialistes de l'aviation (comme des anciens pilotes et contrôleurs) ainsi que d'ingénieurs pour ce qui touchait à la planification et à la construction. Leur philosophie consistait à élaborer des normes physiques pour les différentes installations (pistes, voies d'accès, aérogares) et à augmenter la capacité des infrastructures dès que ces normes étaient dépassées. Ces groupes ne raisonnaient pas en termes de concepts économiques, comme les systèmes de tarification en vue de rationner la capacité ou la valeur temporelle de l'argent.

Dans les années 1960, la demande s'est accrue très rapidement dans le domaine du transport aérien et ce, pour un certain nombre de raisons. Tout d'abord, l'avènement de l'aviation à réaction a considérablement réduit les temps et les coûts des déplacements aériens. Les revenus nets augmentaient. Puis, sont apparues les compagnies de transport à la demande (les noliseurs) qui, grâce à des taux d'occupation très élevées, ont provoqué un nouvel abaissement des prix. Or, à l'ACTA, personne n'était prêt à faire face à cette subite augmentation du trafic, pas plus les planificateurs que les directeurs d'aéroports, si bien que, vers le milieu des années 1960, la plupart des aéroports canadiens ne suffisaient pas la demande et les passagers devaient souffrir des files interminables, surtout dans les aérogares.

Un réseau aéroportuaire géré par un ministère fédéral, responsable auprès du Parlement en la personne du ministre des Transports, doit répondre aux pressions des parties prenantes. En outre, le Ministère n'échappe pas à l'influence des grandes priorités annoncées par les organismes centraux de la fonction publique. Or, à cause de la congestion dans les principaux aéroports, les usagers — autrement dit les compagnies aériennes, les passagers et l'aviation générale — ont commencé à se plaindre. La situation était gênante tant pour le ministre que pour les fonctionnaires. Par contre, sous l'effet d'une économie en expansion, les revenus fiscaux du gouvernement ne cessaient d'augmenter et l'on ne savait pas encore ce que déficit voulait dire. Transports Canada a donc réclamé avec beaucoup d'insistance un financement additionnel au Conseil du Trésor, afin d'accroître la capacité de ses aéroports congestionnés. Ce financement lui fut facilement consenti.

Cependant, à cause des longs délais qui caractérisent la planification et la construction des installations, ainsi que de la durée de vie de celles-ci, les décisions en matière de planification aéroportuaire sont soumises à une grande incertitude. Il est difficile de prévoir la demande et les planificateurs ont tendance soit à la surestimer soit à la sous-estimer. Cela étant, si l'on augmente la capacité des installations aéroportuaires trop tard, on ne peut échapper aux feux croisés de la critique des parties prenantes (compagnies aériennes, aviation générale et public voyageur). Par contre, si la capacité additionnelle intervient trop tôt, en excédent de la capacité nécessaire pendant un certain temps, ce ne sont surement pas les parties intéressées qui s'en plaignent. Or, comme les aéroports étaient financés grâce à des subventions du Trésor, plutôt qu'à des emprunts, coûts bureaucratiques et politiques d'une expansion étaient négligeables. En fait, si on estimait que le Conseil du Trésor était beaucoup plus réceptif alors qu'il ne pourrait jamais l'être plus tard, compte tenu de sa position fiscale, cela ne pouvait qu'inciter les fonctionnaires à accélérer les projets de construction.

Les grands aéroports de Toronto et de Montréal soulevaient un autre problème : devait-on accroître la capacité des installations existantes (celles de Malton, devenu depuis Pearson, et de Dorval) ou devait-on construire de nouveaux aéroports? Grâce aux superficies importantes dont on pouvait espérer disposer, il était permis d'envisager la construction d'aéroports modèles et de s'affranchir, du même coup, des contraintes physiques que présentaient les emplacements existants. Certes, les nouvelles constructions revenaient plus cher, mais il n'y avait là aucun obstacle insurmontable. En outre, dans

le cas de Montréal, on estimait que la construction d'un second aéroport, celui de Mirabel, favoriserait le développement économique de la région.

À Toronto, un autre facteur est entré en ligne de compte, celui de la réaction des riverains de Malton au risque d'augmentation du bruit ambiant à cause de la proximité des nouvelles pistes. En 1968, les résidents d'Etobicoke ont exercé d'énormes pressions sur Transports Canada pour bloquer l'expansion de Malton. Pour le Ministère, la ligne de moindre résistance passait donc par la construction d'un nouvel aéroport. Il s'ensuivit quatre années de recherche pour un emplacement, avant d'en arriver à la sélection de Pickering, en 1972[1].

Entre le milieu des années 1970 et le début des années 1980, le Ministère a connu des difficultés croissantes dans son approche de la planification aéroportuaire, dont la décision de construire deux aéroports, l'un à Mirabel et l'autre à Pickering, sont deux excellents exemples. Le gouvernement fédéral parvint, certes, à faire construire l'aéroport de Mirabel, mais dans le cas de Pickering, il se heurta à une forte opposition des résidents de la région, des écologistes et, pour finir, du gouvernement de l'Ontario. Les résidents ne voulaient pas être chassés de chez eux pour laisser la place à un nouvel aéroport. Les organisations environnementals soutenaient que ce dernier allait détruire la toute dernière région semi-rurale voisine de Toronto et ils réfutèrent l'hypothèse de planification retenue par l'ACTA, à savoir que la demande de trafic aérien continuerait de croître aussi rapidement jusqu'à la fin du siècle. Cette hypothèse obéissait d'ailleurs au point de vue que l'ACTA avait adopté dans son analyse des risques comparatifs liés au suréquipement, d'une part, et au sous-équipement, d'autre part. De plus, l'aéroport de Mirabel était très nettement sous-utilisé, ce qui pouvait donner à penser que Pickering aurait pu être un autre éléphant blanc. Enfin, comme la présence de deux aéroports à Montréal gênait les passagers en correspondance, une partie du trafic a été détournée sur Toronto. Lorsque le gouvernement de l'Ontario a cédé aux pressions publiques et a refusé d'améliorer l'accès à Pickering par voie de surface, le gouvernemental fédéral a décidé, en septembre 1975, de retarder indéfiniment la construction de l'aéroport de Pickering.

Or, vers le milieu des années 1970, la situation avait changé dans le secteur public. Le climat qui avait régné à la fin des années 1960 et au début des années 1970, et qui avait été marqué par une multiplication rapide des programmes gouvernementaux, avait cédé la place à une croissance économique

plus lente dans le milieu des années 1970. Résultat : l'ACTA n'avait plus aussi facilement accès aux fonds qu'il lui fallait. Le gouvernement fédéral a alors commencé à accuser des déficits. Désormais, les aéroports étaient considérés comme étant des sources de revenus et l'on prenait les premières mesures en vue d'en arriver à une autosuffisance financière. À la suite des restrictions budgétaires de 1975, les redevances d'aéroport furent augmentées, et la taxe sur le transport aérien fut adoptée à la fin des années 1970.

Malgré la réduction du capital d'immobilisations de l'ACTA, la demande d'installations ne cessa de croître sous l'effet de la forte augmentation des déplacements aériens, suite à la déréglementation des compagnies survenue au tournant des années 1980. Cela étant, l'ACTA devait désormais gérer plus efficacement les installations existantes. De petits projets d'amélioration furent entrepris, comme la construction de voies de circulation supplémentaires ainsi que l'amélioration des aides à la navigation et des systèmes de contrôle de la circulation aérienne. Les directeurs d'aéroport mirent sur pied des comités de planification, auxquels ils siégeaient aux côtés des représentants des compagnies aériennes, afin de décider de l'affectation des créneaux d'atterrissage et de décollage pendant les heures de pointe. C'est ainsi qu'on en est venu à demander aux exploitants de l'aviation générale de ne plus fréquenter les grands aéroports aux période de pointe. Toutes ces mesures avaient pour objet d'améliorer l'efficacité des installations existantes et d'atténuer le mécontentement des principales parties prenantes.

Toutefois, la récession du début des années 1980, qui donna lieu à un effondrement du volume du trafic aérien pendant plusieurs années, apporta un répit à l'ACTA et aux directeurs d'aéroport. Vers le milieu de la décennie, plusieurs facteurs ont incité Transports Canada à insister encore plus sur l'autosuffisance financière de ses aéroports. Le gouvernement conservateur nouvellement élu s'engagea à privatiser certaines sociétés d'État (comme Air Canada et Pétro-Canada) et à transférer à des organismes spéciaux (comme le Bureau des passeports) ou à des sociétés financièrement autonomes une partie des responsabilités qu'assumaient jusque-là les ministères. En 1986, l'ACTA fut remplacée par le Groupe de gestion des aéroports (GGA) au sein de Transports Canada[2]. Ce nouveau service reçut pour mandat de gérer les aéroports d'une façon beaucoup plus conforme au principe d'autofinancement en vigueur dans le secteur privé. Inspiré par la privatisation de la *British Airports Authority* (l'autorité aéroportuaire britannique), le gouvernement fédéral décida également de s'orienter vers la privatisation

des aéroports et, notamment, de négocier le transfert des aéroports aux autorités locales de Vancouver, d'Edmonton, de Calgary et de Montréal, en fonction de baux à long terme (60 ans)[3].

Si le transfert de responsabilité et la privatisation découlent du programme politique du gouvernement, il faut également y voir le résultat de la situation financière difficile du gouvernement fédéral. En effet, à cause d'une dette accumulée de 420 milliards de dollars, et d'obligations au titre du service de la dette de plus de 40 milliards de dollars par an (le plus gros poste de dépenses), le gouvernement ne peut plus se permettre de financer les grands projets d'équipement aéroportuaires. C'est ainsi que la construction de la troisième aérogare de l'aéroport international Pearson a été entièrement payée par le secteur privé qui en est à présent propriétaire.

Le développement aéroportuaire doit également obéir au processus fédéral d'examen des évaluations environnementales, désormais exigé à l'étape de la planification de tout projet d'agrandissement des grands aéroports. Ce faisant, les opposants à ce genre de projets ont la possibilité de venir défendre leur cas. Le gouvernement, en tant que promoteur d'investissements aéroportuaires additionnels, doit faire la preuve qu'il est possible de réduire au minimum les effets négatifs de ses projets sur l'environnement et que les reste des dommages à l'environnement seront compensés par les avantages que les usagers en retireront. Ce faisant, le GGA a entrepris des analyses coûts-avantages pour tous les grands investissements aéroportuaires. Comme l'évaluation environnementale est un processus judiciaire relativement lent, les délais de planification d'un aéroport sont beaucoup plus longs qu'il y a 20 ans.

À cause de la rareté des capitaux et du processus d'évaluation environnementale, les projets d'expansion aéroportuaires sont devenus beaucoup plus difficiles à réaliser. Entre-temps, la demande n'a cessé d'augmenter depuis la fin des années 1980 et les grands aéroports canadiens sont, de nouveau, congestionnés. Toutes les possibilités d'investissement de faible envergure (voies de circulation, aides à la navigation) ont été épuisées. Les directeurs d'aéroport continuent d'avoir recours aux comités de planification pour calmer les compagnies aériennes et l'aviation générale. Mais le public voyageurs est de plus en plus perturbé et irrité par les retards qu'il doit subir dans les principaux aéroports centraux du pays, qui sont congestionnés, surtout celui de Pearson.

Aujourd'hui, à l'aube des années 1990, les planificateurs d'aéroports viennent de boucler la boucle. Tout comme dans le milieu des années 1960, ils font de nouveau face au problème de la congestion des aéroports mais, contrairement à ce qui se passait à l'époque, ils ne disposent que de fonds publics limités pour le régler. Nous sommes passés d'un régime de gestion aéroportuaire obéissant au «modèle gouvernemental» à un régime qui s'apparente beaucoup plus à la «gestion dans le secteur privé», hautement endetté, et où l'on ne peut plus assumer aucune dette supplémentaire. Et malgré les protestations du public voyageurs, des compagnies aériennes, de l'aviation générale et des riverains des aéroports, le GGA n'est plus en mesure de réagir à cause de la situation financière difficile de l'État.

Les parties suivantes décrivent un modèle de gestion d'aéroport qui s'articule autour de l'efficacité économique. Comme nous le verrons, les décisions prises selon ce principe diffèrent de celles qui ont simplement pour objet de satisfaire les parties prenantes ou de parvenir à l'autosuffisance financière. En outre, nous illustrerons en quoi une telle approche peut permettre d'aplatir quelque peu le cycle emballement-effondrement caractéristique du genre d'expansion aéroportuaire que nous avons connue au cours des 30 dernières années.

2.2 CADRE DE PLANIFICATION

Comme nous l'avons vu, le processus de planification aéroportuaire au Canada a beaucoup plus été fonction de normes physiques que de considérations liées à l'efficience économique. On ne reconnaît pas toujours ce genre de distinction, et surtout pas les planificateurs d'infrastructures qui ont tendance à n'invoquer les principes économiques que pour justifier les investissements qu'ils jugent nécessaires, en fonction de ce qu'ils croient être les conditions physiques ou opérationnelles du moment. Il y a bien sûr une grande différence entre la réalisation d'analyses économiques (coûts-avantages ou incidence économique) à l'appui d'un projet donné, et l'application de principes économiques en vue de parvenir à une utilisation efficace des installations existantes ou à la construction d'installations supplémentaires. Cette différence a été mise en relief par ce qui s'est récemment passé au Canada, surtout à propos de l'agrandissement des deux plus grands aéroports, ceux de Toronto et de Vancouver. Le substrat des récentes études coûts-avantages effectuées pour ces aéroports, et sur lesquelles nous reviendrons plus en détail plus loin dans ce rapport, est caractérisé par un net parti-pris

sur le plan de la planification physique. Dans les deux cas qui nous intéressent, ce parti-pris a été la cause d'un important défaut d'efficience avant même que les travaux d'agrandissement ne soient entrepris.

Considérations relatives à la capacité

Afin de comparer la demande de trafic à la capacité de la piste, il faut d'abord exprimer la «capacité» en débit (nombre de mouvements par unité de temps). D'après les normes de Transports Canada et de la Federal Aviation Administration (FAA) des E.U., la capacité de la piste de Vancouver se définit comme étant le débit auquel le retard moyen au décollage est de quatre minutes[4]. Cette définition normative de la capacité rejoint une constatation générale selon laquelle, dès que le retard moyen dépasse quatre minutes, il augmente très rapidement et s'accompagne d'un accroissement du débit; dès que le débit s'approche de la capacité physique maximale, le retard moyen au décollage tend vers l'infini. Partant de cette définition, et des hypothèses émises à propos des conditions d'exploitation des aéroports, il est donc possible de calculer la capacité d'une piste donnée.

Dans son étude de l'aéroport de Vancouver (1989), l'équipe du projet d'augmentation de la capacité côté piste (ACE) s'est servie d'un programme de calcul informatisé de la capacité horaire des pistes afin de calculer le débit auquel le retard moyen au décollage pourrait être de quatre minutes, à partir d'une série d'hypothèses relatives aux conditions météorologiques, à la mixité du trafic et aux procédures de contrôle de la circulation aérienne. On a conclu que cette valeur, telle que calculée pour la capacité du réseau de pistes existant, était inférieure au débit réel et que, par conséquent, il était nécessaire d'agrandir l'aéroport. On a alors recalculé la capacité des pistes pour tenir compte des améliorations apportées à court terme et comparer le résultat aux prévisions de trafic. Après avoir conclu que la demande dépasserait de nouveau la capacité de la piste au bout de trois ans, on a conclu qu'il était nécessaire de construire une nouvelle piste et d'évaluer la faisabilité économique de ce projet dans le cadre d'une nouvelle étude de coûts-avantages.

Si l'expansion de la capacité se définit comme étant le débit permettant un retard moyen au décollage de quatre minutes, il y a une autre façon de tester le bien-fondé de l'agrandissement envisagé. Celle-ci consiste à comparer retard moyen au décollage constaté à la norme de quatre minutes.

L'étude ACE, fondée sur les retards au décollage enregistrés depuis mai 1988, a établi que le retard moyen à Vancouver oscillait entre 6 et 11 minutes, preuve que selon la définition normalisée de la capacité, les travaux d'agrandissement s'imposaient. Or, s'il a fallu attendre que le retard moyen au décollage dépasse de beaucoup la norme de quatre minutes pour se rendre compte qu'il était nécessaire d'entamer les travaux d'expansion, c'est que rien ne permettait de contrôler le phénomène de la congestion à Vancouver avant la mise sur pied du projet ACE.

Même si le programme de contrôle des retards au décollage avait été adopté suffisamment tôt pour constater cet écart, rien ne garantit que la méthode employée par l'équipe ACE aurait permis d'entreprendre au moment optimal l'étude des coûts-avantages. Cela tient au fait que toute augmentation de la capacité des pistes peut se justifier sur un plan économique avant (ou après) que le retard au décollage ne soit de quatre minutes. L'augmentation de la capacité d'un aéroport est éco-nomiquement justifiée, lorsque les avantages que présentent les travaux d'agrandissement (valeur actualisée) sont supérieurs aux coûts de l'agrandissement (valeur également actualisée). Comme la réduction des coûts attribuables à la perte de temps engendrée par la congestion constitue le principal avantage dérivé d'un accroissement de la capacité, il existe donc un retard moyen critique auquel l'augmentation de capacité est justifiée. Cependant, il n'est pas certain que le retard moyen critique soit de quatre minutes; ce niveau peut en effet dépendre d'un certain nombre de facteurs, surtout du coût des immobilisations, et il peut donc être inférieur ou supérieur à quatre minutes.

Autrement dit, si l'on définit la «capacité» sans prendre en compte les coûts d'accroissement y afférents, on risque d'en venir à conclure à la nécessité de travaux d'agrandissement, avant ou après le moment où de tels travaux sont justifiés sur un plan économique. Or, le raisonnement économique exige que l'on évalue le bien-fondé d'une augmentation éventuelle de la capacité, non par la comparaison du retard au décollage à une norme physique établie (dont on ne remet même pas en question le bien fondé économique), mais plutôt par la comparaison explicite des coûts associés à tel ou tel retard aux coûts inhérents à l'augmentation de ladite capacité. Dans les travaux de planification de la nouvelle piste de l'aéroport de Vancouver, on n'a pas retenu ce critère économique avant d'en arriver à l'étape de l'étude coûts-avantages. Le besoin initial d'augmentation de capacité et, par conséquent le choix du moment pour la conduite

d'une étude coûts-avantages, a été déterminé par l'application de normes physiques plutôt que de critères économiques explicites.

On a retrouvé le même parti pris dans le cas du projet d'agrandissement de Toronto. Après avoir constaté que le contrôle de la circulation aérienne ne pouvait plus absorber le trafic prévu et qu'il s'ensuivrait d'importants retards, il a été décidé de plafonner le nombre de mouvements à 70 à l'heure, avant de le limiter, plus tard, à 76 à l'heure. Entre-temps, on a envisagé un certain nombre d'améliorations à apporter au système en vue de porter la capacité actuelle des pistes à 96 mouvements à l'heure d'ici le milieu des années 1990. Or, les prévisions de la demande donnèrent à penser que même cette capacité additionnelle pourrait ne pas suffire et qu'il fallait envisager la construction de pistes supplémentaires. Cependant, le débat s'est toujours articulé autour de la comparaison entre la capacité horaire estimée (autrement dit l'expression du débit maximum selon certaines normes techniques) et la demande en période de pointe. Comme on allait s'en rendre rendu compte plus tard à l'analyse, même si la demande aux heures de pointe n'avait pas dépassé le «débit maximum» estimé, l'augmentation de la capacité aurait pu se défendre sur le plan économique. Autrement dit, comme tout fonctionnement au niveau ou au voisinage du «débit maximum» occasionne des retards importants dans le système, de nouveaux investissements d'envergure se justifieraient par les simples économies qui découleraient d'une réduction du retard au décollage.

L'aversion à la tarification

La démarche de planification qui s'appuie sur des normes physiques ne débouche pas uniquement sur une augmentation de la capacité, mais également sur une meilleure utilisation des capacités actuelles. Dès qu'il y a congestion, les planificateurs d'aéroports conviennent qu'il faut rationner la capacité disponible mais, pour ce faire, ils ont tendance à se rabattre sur des solutions administratives plutôt qu'économiques. Dans le cas de Toronto, par exemple, la limite horaire adoptée détermine le nombre maximum de vols pouvant être programmé, et le nombre de créneaux disponibles est alloué aux différents usagers. Or, cette limite correspond à un niveau d'exploitation beaucoup plus proche d'un débit «maximum» que d'un débit «optimum». On ne se soucie guère des coûts, occasionnés par les retards, que cette limite impose aux différents usagers et l'on n'a pas non plus recours à un mécanisme de tarification en période de congestion qui permettrait de

dissuader la demande. Par ailleurs, les créneaux disponibles sont attribués par un comité de réservation qui obéit à certaines priorités mais qui n'a pas pour mission d'attribuer ces créneaux aux usagers qui en font le meilleur usage.

Les pratiques actuelles de planification des horaires à l'aéroport international de Toronto contribuent sans doute beaucoup à éviter le problème de la congestion, mais on est encore loin des résultats que permettrait d'atteindre une politique des prix optimale. Ceux qui pratiquent la méthode traditionnelle de planification physique ont toujours eu tendance à résister à l'application de politiques de prix efficientes. Comme dans la plupart des aspects de la gestion de l'infrastructure des transports, on constate également cette tendance dans les aéroports canadiens. En général, les économistes estiment que cette aversion des ingénieurs (ou planificateurs) pour l'application de saines politiques de prix tient au fait qu'ils ont tendance à négliger l'efficacité.

Dans la pratique, cependant, les économistes doivent accepter une partie du blâme pour avoir trop vanté les vertus de la tarification, du moins en l'absence de pratiques d'investissement «rationnelles». Comme nous le verrons plus en détail un peu plus loin, l'affectation efficiente des ressources dans le cadre de la planification aéroportuaire comporte deux volets : la tarification des prix et l'investissement.Un établissement de prix efficient doit permettre d'assurer la meilleure utilisation possible des installations existantes, mais, à long terme, on ne peut respecter le critère de l'efficacité économique que par le biais d'investissements de niveau approprié. Dans le débat au sujet de la politique aéroportuaire canadienne, les économistes ont prétendu qu'il serait possible de réduire grandement le besoin de capacité additionnelle si l'on disposait de politiques de prix efficientes. Cependant, les études récentes montrent que les investissements consacrés à l'accroissement de la capacité du côté piste auraient dû être réalisés depuis longtemps à Toronto et à Vancouver, qu'il y ait eu ou non tarification en période de congestion. Dès lors, les grands aéroports du pays ont souffert d'un sous-investissement et d'un ensemble de problèmes qui n'auraient pu être réglés par la seule application d'une politique de prix efficiente.

Quoi qu'il en soit, la résistance générale à l'établissement d'une tarification de congestion dans les aéroports a un côté tout à fait légitime. En effet, les usagers ne sont pas convaincus que, même s'ils sont justifiés par la demande,

les fonds sont correctement investis dans la production d'une capacité additionnelle. Toute tentative visant à augmenter les redevances à l'atterrissage est généralement perçue comme une façon de taxer les usagers plutôt que de créer un fonds en vue de financer (ou de rembourser) des investissements aéroportuaires. Par conséquent, il ne faut pas s'étonner que les groupes d'usagers préfèrent le système de réservation des créneaux à celui d'une tarification en période de pointe. En l'absence d'un mécanisme transparent garantissant que les fonds sont effectivement appliqués aux investissements, force est de constater que les craintes de ces usagers sont légitimes. Afin de rationaliser au mieux la capacité disponible, à leur niveau, ils essaient de déplacer certains vols afin d'éviter le fardeau de tarifs trop élevés à tous les autres.

Justification des investissements

Si les planificateurs d'installations physiques ne s'appuient pas toujours sur un raisonnement des plus convaincants pour justifier de nouveaux investissements, ils se départissent rarement de leur zèle à promouvoir des travaux d'agrandissement. Les deux principaux éléments qui les ont freinés au cours de la dernière décennie sont sans nul doute le manque de fonds et l'opposition des collectivités. Les planificateurs ont une propension à vouloir contrer ce genre de pressions à coup d'études d'incidences économiques dans lesquelles on présente les aéroports comme étant des catalyseurs de l'activité économique. Ces derniers sont sources d'emplois et ils contribuent à l'économie locale ou régionale sous la forme d'achats de biens et de services. Les salaires «directs» et toutes les autres dépenses donnent lieu à un ensemble d'effets secondaires, puisque les employés sont des consommateurs et que les fournisseurs, de leur côté, se mettent à traiter avec d'autres entreprises locales. Ces retombées économiques à l'échelon local sont souvent reprises par des «multiplicateurs» d'incidences primaires, qui tiennent compte des «pertes» survenant le long de la chaîne de consommation (ou de dépenses).

Ces études d'incidences économiques ont pour objet de mesurer les effets directs, indirects et induits associés aux aéroports. Autrement dit, elles servent à dégager la contribution des activités aéroportuaires à l'économie ou à l'activité économique locales, contribution qui disparaîtrait si l'aéroport devait ne plus être. Si les méthodes et techniques d'estimation pullulent, toutes ces études essaient de faire ressortir la valeur économique des aéroports. Les principes fondamentaux de ces études d'incidences sont dérivés

des théories de base de l'économie régionale dont le but est d'expliquer le mode de fonctionnement de l'espace économique, autrement dit des liens spatiaux unissant les entreprises ou les industries entre elles. Les planificateurs d'aéroports ont adopté ces concepts pour différentes raisons, mais surtout pour illustrer l'importance de la présence d'un aéroport dans l'économie régionale.

À cause de l'opposition des riverains à tout projet d'agrandissement et des difficultés d'obtenir des capitaux d'immobilisations, les planificateurs d'aéroports sont portés à justifier leur rôle et à affirmer leur présence dans les localités. Il est donc tout à fait naturel qu'ils insistent sur des questions telles que la création d'emplois et la génération de recettes pour mobiliser l'appui des résidents autour de la construction d'installations, surtout aux États-Unis où la majorité des autorités aéroportuaires sont de régie locale. Et lorsqu'un financement local s'impose, les études d'incidences économiques constituent non seulement un puissant instrument de relations publiques, mais aussi un mécanisme efficace pour mobiliser des fonds publics. On comprend dès lors que, dans les années 1970 et 1980, les études d'incidences économiques soient devenues à la mode partout en Amérique du Nord, et qu'elles se soient presque imposées comme une nécessité pour toutes les autorités aéroportuaires locales.

Au Canada, l'argument des incidences économiques a joué un rôle important dans la justification de la construction de l'aéroport de Mirabel, surtout que ce projet était largement vanté en tant qu'initiative de développement économique. Le nouvel aéroport n'allait-il pas se traduire par des opportunités de développement, par l'installation d'industries qui, sinon, se seraient installées ailleurs et par la création d'une activité locale importante que ne se serait pas autrement développée. On a avancé le même genre d'arguments dans le cas de Pickering; bien sûr, la suite des événements n'a pas pu les contredire, contrairement à ce qui s'est passé pour Mirabel.

Bien que l'ère des nouveaux aéroports se soit achevée par la mort de Pickering, les études d'incidences économiques continuent de jouer un rôle important dans tout ce qui touche à la planification aéroportuaire au Canada. Au cours des quelque dix dernières années, presque tous les grands aéroports au Canada ont commandé au moins une étude d'incidences économiques. La première du genre, pour l'aéroport de Malton (devenu Pearson) à Toronto, a en fait été financée grâce à un reliquat du budget réservé pour Pickering, dans l'année

qui a suivi l'annulation de ce projet. Des études semblables ont ensuite été entreprises à Edmonton, Calgary, Vancouver et pour certains aéroports plus petits. La première étude sur l'aéroport de Malton a préfiguré certaines des «percées» méthodologiques qu'on allait constater dans ce qu'il convient d'appeler la «culture de l'incidence économique» qui régnait aux États-Unis au tournant des années 1980. À l'aube de la décennie suivante, les autorités ont éprouvé la nécessité de commander une nouvelle étude d'incidences économiques obéissant aux connaissances les plus récentes.

Toutes ces analyses d'incidences économiques sont essentielles pour prouver l'importance des aéroports dans l'économie locale ou régionale. Il est évident qu'elles servent à contrer les oppositions locales et à mobiliser l'appui politique. Par ailleurs, elles permettent de promouvoir le transfert de responsabilité des aéroports qui, comme nous le verrons dans la partie suivante, constitue la clé de voûte de la politique du gouvernement fédéral en matière d'aéroports. Les gouvernements locaux comprenant mieux le rôle économique des aéroports, ils devraient se montrer naturellement plus ouverts à l'idée d'en prendre possession et d'en assurer la gestion en tant que moyen leur permettant de mieux contrôler ou de mieux influencer les initiatives de développement économique local. Mais au-delà de ce rôle utile, il est difficile de ne pas appréhender de manière critique, voire cynique, les études d'incidences économiques, surtout quand elles servent à justifier la construction ou l'agrandissement d'aéroports, autrement dit, quand elles deviennent des instruments d'évaluation de l'investissement.

Comme on a pu le voir dans le cas de Mirabel, les aéroports ne sont pas générateurs de développement économique et ils peuvent tout au plus faciliter ce développement quand le potentiel est déjà là. Les mêmes arguments ont d'ailleurs été invoqués pour le projet de Pickering, qui a fini par faire long feu. Pourtant, dix ans plus tard, les responsables des aéroports ne semblaient pas mieux préparés pour défendre leur position dans le projet d'expansion de l'aéroport international Pearson. Avant même que d'entreprendre sérieusement l'analyse des coûts et des avantages de l'accroissement de la capacité des pistes, les planificateurs se sont tournés vers les études d'incidences économiques dans l'espoir de prouver que Toronto ne pouvait se permettre de ne pas agrandir son aéroport. Et pourtant, il aurait dû être on ne peut plus évident que l'économie régionale risquait d'être sérieusement perturbée par un aéroport congestionné; il est donc relativement ridicule d'avoir essayé de justifier un nouvel investissement par la

création éventuelle d'emplois et la génération de revenus, dans une économie déjà surchauffée. En fait, les avantages découlant d'une diminution de la congestion auraient pu facilement justifier des investissements majeurs dans la construction de nouvelles pistes. L'enseignement qu'il faut tirer de tout cela, c'est que la justification économique de tout projet réside dans la demande et non dans ses effets ou incidences. Donc, il ne faut pas voir dans les dépenses destinées à augmenter la capacité d'un aéroport un avantage net ou la concrétisation de l'incidence économique de cet aéroport, car si l'on n'exécutait pas les travaux envisagés, ces ressources pourraient servir à d'autres projets de construction.

En conclusion, études et énoncés d'incidences économiques peuvent effectivement avoir une valeur promotionnelle considérable et continuer de jouer un rôle important à l'appui des efforts que le gouvernement fédéral a entrepris en vue de transférer la responsabilité de ses aéroports. Cependant, elles ne constituent pas des instruments appropriés d'évaluation de l'investissement ou des projets. Comme nous le verrons tout au long de ce rapport, on ne peut vraiment justifier les investissements aéroportuaires que par le biais de solides études de coûts-avantages; autrement, dit, il convient de prouver l'efficacité économique du projet, comme pour toute décision d'affection de ressources. Or, si l'on en juge d'après les récents exercices de planification aéroportuaire au Canada, cette obsession de conduire des études d'incidences économiques nous a détournés des études coûts-avantages, plus sérieuses et plus rigoureuses. Et même si l'on retient la perspective des relations avec la collectivité, les études d'incidences économiques s'avèrent d'une utilité tout à fait limitée. Les résidents locaux, touchés par des externalités négatives (comme le bruit, par exemple), ne trouvent que peu de compensations dans les retombées économiques qui profitent à leur collectivité (par exemple, pour ce qui est des emplois susceptibles d'être créés pour d'autres).

2.3 CONTEXTE DE LA POLITIQUE

L'économiste qui prêche pour l'efficience dans le domaine de la planification aéroportuaire au Canada ne peut que se réjouir de la nouvelle orientation donnée à la politique fédérale en matière d'aéroports. Celle-ci repose désormais sur trois piliers - à savoir le transfert de responsabilité et la privatisation, le recouvrement des coûts et l'évaluation environnementale — qui sont autant de signes tendant à prouver que l'efficacité du réseau aéroportuaire canadien pourrait être améliorée dans l'avenir.

Le transfert de responsabilité et la privatisation

Lorsqu'il a remplacé l'Administration canadienne du transport aérien, en 1985, le Groupe de gestion des aéroports a pris la responsabilité de quelque 200 aéroports au pays. La valeur actuelle de remplacement estimée de ces derniers (en dollars de 1985), frise les 8 milliards de dollars. Avec un budget d'immobilisations supérieur à 200 millions de dollars, un budget de fonctionnement et d'entretien qui frise les 400 millions de dollars et près de 4 500 employés, le GGA se présente donc comme un organisme d'envergure non négligeable. Ses recettes, qui se chiffraient à près de 330 millions de dollars dans la première année d'exploitation, proviennent essentiellement des redevances d'aérogare, des droits d'atterrissage, des frais de location et des redevances de concession. Et grâce à la partie de la taxe sur le transport aérien qui revient au GGA (soit environ 280 millions de dollars en 1985-1986) l'organisme a pu enregistrer des recettes totales de plus de 600 millions de dollars.

C'est surtout la nécessité de créer un organisme ayant une vocation plus commerciale, un peu à l'image d'une entreprise privée, qui a poussé le gouvernement fédéral à transformer l'ACTA en GGA (et à regrouper les autres volets — sécurité, réglementation et navigation aérienne — au sein du Groupe Aviation). C'est d'ailleurs ce qui transpire de l'énoncé de politique du gouvernement de l'époque, intitulé «cadre de référence pour la gestion future des aéroports au Canada». Cette nouvelle politique obéit à deux grandes orientations : le transfert de responsabilité des aéroports de Transports Canada à des groupements locaux, et la mise en œuvre du modèle de l'autorité aéroportuaire de Transports Canada dans les autres aéroports. Le transfert de responsabilité est plutôt lent, le projet de loi C-85 (*Loi relative aux cessions d'aéroport*) n'ayant pas encore franchi l'étape de la Chambre des communes. Quoi qu'il en soit, dans les premières années, le GGA a conclu le transfert de la responsabilité de 50 aéroports des catégories B et C dans l'Arctique aux gouvernements du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest. Il semble que les dispositions financières et les régimes d'avantages sociaux des employés viennent d'être conclus dans le cas des aéroports d'Edmonton, de Vancouver, de Calgary et de Montréal et que le transfert de responsabilité de ces installations devrait bientôt intervenir. Enfin, il convient de mentionner les autres projets qui sont en cours de réalisation :

- Une entente a été conclue en vue de faire assurer le financement, par l'autorité locale (par exemple, par le biais d'obligations de municipalités), de l'accroissement des capacités pistes et aérogare à l'aéroport international de Vancouver.
- Les scénarios de référence pour Québec, Moncton, Windsor, Thunder Bay, Winnipeg et Kamloops sont terminés et les négociations concernant le transfert de responsabilité commenceront sous peu.
- Une autre série de transferts devrait être conclue dans le courant du prochaine exercice financier (1992-1993) et, d'ici la fin de l'année suivante, près de 25 autres aéroports devraient avoir été transférés.

Outre le transfert de responsabilité, le GGA a entrepris certains projets en vue de garantir la participation directe du secteur privé à la conception, à la construction, au financement et à l'exploitation des installations. À cet égard, le projet qui aura sans doute été le plus important est le développement de l'aérogare 3 de l'aéroport international Pearson de Toronto, par des intérêts privés. Cette aérogare, qui a été inaugurée en février 1991, comporte 24 portes et présente une capacité d'accueil de 10 millions de passagers par an. L'investissement d'infrastructures de 550 millions de dollars a nécessité une contribution fédérale inférieure à 10 millions de dollars, et il faut préciser que les recettes délaissées (estimées) auraient été nettement inférieures aux coûts d'exploitation et de réalisation (autrement dit à l'intérêt sur les coûts d'immobilisations) d'un projet de cette ampleur. Le GGA est en train de préparer un appel d'offres pour confier le rédeveloppement des aérogares 1 et 2 de l'aéroport de Toronto au secteur privé. En outre, toujours au chapitre du transfert des responsabilités, le GGA essaie d'intéresser le secteur privé à l'achat ou à la location des petits aéroports.

Comme nous l'avons vu, les coûts de fonctionnement du GGA au cours de sa première année ont oscillé aux environs de 400 millions de dollars; en 1991-1992, ils étaient descendus à 371 millions de dollars et, en 1993-1994, on prévoit qu'ils seront inférieurs à 300 millions de dollars. Cette réduction est largement attribuable au transfert de la responsabilité des aéroports aux autorités locales. Bien qu'il n'existe pas d'études de productivité détaillées, le GGA s'efforce également d'améliorer l'efficacité des opérations dont il continue d'assumer la charge. Outre une amélioration sur le plan des coûts, il est question d'élargir la base de revenus par le biais des redevances

d'atterrissage et d'aérogare ainsi que des droits de concession et des revenus de location d'espaces.

Suivant le point de vue que nous avons retenu pour la préparation du présent rapport, les aspects organisationnels ne sont pas des plus critiques dans l'application de politiques de prix et d'investissement efficientes, du moins pas en théorie. Le type de politiques de prix et d'investissement recommandées dans ce rapport auraient pu être mises en oeuvre dans le cadre de l'ancienne structure ministérielle relevant de l'ACTA. Toutefois, à en juger par les réalisations du Ministère au cours des deux dernières décennies, force est de constater que le milieu bureaucratique n'a pas favorisé l'efficience économique, pas plus dans la construction que dans l'exploitation des installations.

Une approche beaucoup plus axée sur un fonctionnement du type entreprise privée, qui a inspiré la création du GGA, est susceptible de promouvoir des pratiques de prix et d'investissement plus efficientes. Il devrait évident pour tout le monde qu'un organisme fonctionnant selon des règles commerciales, plutôt que selon une structure bureaucratique, ne peut que favoriser une plus grande efficience économique. Dans la même veine, le transfert de la responsabilité des droits de gestion devrait donner lieu à une plus grande responsabilisation à l'échelon local. On devrait ainsi parvenir à réduire les risques de surinvestissement (comme la construction d'autres éléphants blancs du genre Mirabel), et à diminuer la tolérance au sous-investissement, grâce à une réaction beaucoup plus adaptée au problème de la congestion des aéroports. Dans l'ensemble, le transfert de responsabilité et la privatisation, prévus dans le nouveau cadre d'orientation politique des aéroports, constituent un progrès du point de vue de l'efficience économique, même s'il ne s'agit pas d'une condition préalable absolue à l'exploitation efficace d'un aéroport.

Recouvrement des coûts

Une autre dimension importante de la politique fédérale en matière de financement et de gestion des aéroports est celle du recouvrement des coûts. Le premier document de travail, qui exposait les politiques de recouvrement de coûts de Transports Canada, a été publié en mai 1987. C'est sur la base de ce dernier qu'a pu prendre place un ensemble de consultations avec les différents usagers et groupes d'intérêts, consultations qui ont conduit à la publication d'un second document de travail, en avril 1990. Au terme d'une

autre année de consultations, il semble maintenant que la mise en oeuvre de la politique pourrait être retardée, voire abandonnée. Quoi qu'il en soit, les politiques en question présentent un intérêt considérable dans l'optique du présent rapport.

Les politiques de recouvrement de coûts de Transports Canada font sans nul doute partie de l'effort global que déploie le gouvernement en vue de réduire son déficit. Les principes fondamentaux de cette politique sont les suivants[5] :

- Veiller à ce que les utilisateurs paient une part équitable des coûts des installations et des services dont ils profitent.
- Libérer le contribuable d'un fardeau qui revient à juste titre aux du réseau de transport.
- Imposer une plus grande discipline aux utilisateurs qui réclament des installations et des services supplémentaires ou meilleures.
- Améliorer l'efficience du réseau de transport, objectif qu'il est possible d'atteindre en recouvrant une plus grande partie des coûts, car la demande, les décisions d'investissement et les choix d'un mode de transport seront alors fondés sur une idée plus juste du coût du service.

La pertinence de ces principes, en regard des politiques de prix et d'investissement, se trouve soulignée dans l'évaluation du recouvrement de coûts par le biais des recettes d'aéroport :

- Aux fins du recouvrement des coûts, les aéroports sont actuellement répartis en différents groupes. Les droits les plus importants (par exemple, les redevances d'atterrissage), sont les mêmes dans tous les aéroports d'un groupe particulier, mais sont inférieurs pour les petits aéroports. Les droits d'atterrissage sont exigées sur une base dite «résiduelle»; autrement dit, elles servent à combler l'écart constaté, pour un groupe donnée d'aéroports, entre la totalité des coûts de fonctionnement et l'ensemble des autres recettes. Historiquement, les redevances d'atterrissage n'ont jamais permis de combler cet écart. C'est pour cette raison que les redevances ne sont pas étroitement liées aux coûts des installations et des services particuliers pour chaque aéroport.

- La plus importante source de recettes est sans doute la taxe sur le transport aérien (TTA), qui est une taxe d'accise imposée à tous les passagers (des vols intérieurs et internationaux). Contrairement aux revenus d'autres taxes d'accise qui sont considérés comme un élément des recettes générales du gouvernement, les revenus de la TTA sont crédités à Transports Canada afin de lui permettre de payer les installations et les services de transports aériens, en général.

Pour ce qui est de la détermination des coûts des immobilisations, la politique de recouvrement de coûts s'articule autour de la «valeur nette aux livres». Bien que le GGA ait évalué la valeur de remplacement des aéroports à plus de 8 milliards de dollars, aux fins du recouvrement des coûts, la valeur nette aux livres a été estimée à environ 1,5 milliard de dollars au 31 mars 1988. À partir d'un rendement moyen avant impôt de l'actif global net des industries réglementées au Canada, et une fois l'élément risque pris en compte, on a évalué les coûts annuels des immobilisations du GGA à quelque 218 millions de dollars pour l'année 1987-1988. Après les ajustements nécessaires et l'inclusion des éléments non imputables, les dépenses totales (autrement dit, frais de fonctionnement et de maintenance inclus), aux fins du recouvrement des coûts, ont été évaluées à 546 millions de dollars.

Une fois les coûts imputables déterminés, la politique de recouvrement des coûts en régit la répartition entre les différents groupes d'usagers. Les principaux usagers des aéroports sont les services de transport commerciaux intérieurs, les services de transport commerciaux internationaux, l'État et l'aviation militaire et, enfin, l'aviation générale. Dans les politiques de recouvrement de coûts proposées, on estime que le côté piste des grands aéroports fédéraux sert essentiellement aux exploitants de services aériens commerciaux, raison pour laquelle on leur impute la totalité des coûts des immobilisations associés à cet aspect des opérations. Il est proposé que les coûts de fonctionnement et d'entretien des installations d'aérodrome soient répartis entre tous les usagers, selon la masse maximale au décollage des avions. Dans le cas des aéroports spécialisés dans l'aviation générale les coûts ne seraient bien sûr imputés qu'à ce groupe d'usagers. Les coûts des aérogares seraient répartis entre ceux qui sont associés à la partie du bâtiment affecté au traitement des passagers, à l'espace utilisé par les concessionnaires (autrement dit l'espace commercial) et aux aires de stationnement automobile

rattachées à l'aérogare. Cela étant posé, voici comment s'articulent les principales propositions en matière de recouvrement de coûts dans les aéroports :

- Les coûts des installations côté pistes et côté aérogare doivent être couverts sous la forme de redevances propres à chaque emplacement.
- Les redevances d'utilisation des aéroports doivent être établies sur une base compensatoire, autrement dit en rapport avec les coûts attribuables à l'exploitation des pistes et au traitement des passagers dans l'aérogare.
- Les coûts inhérents à l'exploitation du côté pistes doivent être principalement récupérés sous la forme de droits d'atterrissage, calculés sur la base de la masse maximale au décollage des avions à turbopropulseur et des avions à réaction. Les redevances de concession, pour la ventes du carburant aux deux types d'appareils susmentionnés, devraient être éliminées et les droits d'atterrissage devraient être augmentés de sorte à ce que les recettes demeurent inchangées. La seule exception serait celle des avions à pistons dont les exploitants devraient verser une redevance de concession pour l'essence aviation et, dans certains cas, un droit d'atterrissage additionnel dans les grands aéroports.
- Les coûts de traitement des passagers dans les aérogares devraient être récupérés sous la forme de redevances d'aérogare générales, calculées d'après les capacités d'emport des avions les plus courants. Une redevance supérieure devrait être exigée dans le cas des avions assurant des services internationaux, compte tenu du supplément d'espace nécessaire à l'accueil de leurs passagers (par exemple : aux fins des services d'inspection, pour accueillir les accompagnateurs et pour tenir compte du temps passé sur place qui est supérieur à ce qu'on enregistre dans le cas des vols intérieurs).

En outre, la politique de recouvrement de coûts prévoit l'imposition d'une redevance aux heures de pointe, dans les grands aéroports où, souvent pendant de longues périodes, le trafic est supérieur à la capacité d'accueil des pistes. Voici quel est le raisonnement qu'on a retenu à ce propos :

- La taille des installations est calculée pour absorber une partie importante, mais non la totalité de la demande en période de pointe.
- Les grandes installations, qu'il a fallu construire à cause des pointes de demande, ont occasionné des coûts d'immobilisation et d'exploitation supplémentaires.
- Tous ces coûts additionnels devraient, dans toute la mesure du possible, être absorbés par les usagers qui en sont la cause.

Bien que l'énoncé de recouvrement des coûts précise les principes fondamentaux, il reste à arrêter une méthodologie plus détaillée, tant pour ce qui est des pistes que du traitement des passagers. Entre-temps, il a été proposé d'imposer des redevances minimales d'atterrissage et d'adopter deux dispositions connexes dans le cas des aéroports de Toronto et de Vancouver, à savoir l'imposition de droits pour les avions à pistons de gros tonnage, et l'imposition de droits de concession pour l'essence aviation.

Plus loin dans ce rapport, nous reviendrons sur les conséquences des politiques proposées en matière de recouvrement des coûts, du point de vue de l'établissement des prix. Il existe certaines différences conceptuelles entre le recouvrement des coûts, d'un côté, et les principes théoriques de la tarification en fonction du coût marginal social, de l'autre. Quoi qu'il en soit, le cadre de recouvrement des coûts, tel qu'il est proposé, précise les éléments essentiels à un système efficient d'établissement de prix. Malheureusement, même s'il s'agit là d'un net progrès, on doute à présent que cette politique de recouvrement des coûts soit jamais appliquée telle que prévue.

Les évaluations environnementales

Comme dans tous les aspects de l'activité socio-économique, les politiques relatives aux aéroports sont de plus en plus orientées sur l'environnement[6]. À cet égard, le GGA fait état des grands projets suivants, pour le présent exercice financier :

- Des lignes directrices relatives aux restrictions sur les vols de nuit ont été établies et un important programme de gestion du bruit a été mis sur pied à l'aéroport Pearson, à Toronto.
- Un programme quinquennal visant à détruire les biphényles polychlorés (BPC) partout où opère Transports Canada a été élaboré, et les documents sur ce programme sont achevés.
- Un agent principal de l'environnement compte maintenant parmi les effectifs de tous les aéroports internationaux et de toutes les régions.

Et voici ce qu'on prévoit pour le prochain exercice financier :

- Le plan d'action national en matière d'environnement aux aéroports, qui a été établi en réponse au Plan vert fédéral, sera mis en application. Les éléments-clés seront les programmes visant à déterminer les emplacements qui peuvent être contaminés, à effectuer des tests à ces derniers et aux réservoirs d'entreposage souterrains, ainsi que le programme axé sur les BPC.
- La plupart des travaux de planification et des études préliminaires se dérouleront, mais la mise à exécution sera sans aucun doute retardée à cause de la situation budgétaire.
- Pour passer de la réaction à la prise même des mesures qui s'imposent, nous mettrons en oeuvre un programme complet de vérifications de l'environnement, de surveillance de la qualité de l'air et de l'eau et d'établissement de lignes directrices relatives à l'environnement.

En général, d'aucuns estiment qu'activité aéroportuaire et environnement sont en conflit permanent. La prise de conscience environnementale aidant, et la politique officielle tenant de plus en plus compte de la qualité de l'environnement, les exploitants des aéroports font l'objet de plus en

plus de pressions et se heurtent à de plus en plus de contraintes dans leurs travaux de planification. Cependant, l'efficience économique, elle, n'est pas toujours contraire aux objectifs environnementaux. C'est par exemple, le cas du bruit des avions qui a une incidence sur le voisinage immédiat des aéroports. On peut donc associer le bruit à un ensemble de coûts devant être absorbés par les riverains et qui, en principe, ne sont pas différents des coûts d'exploitation des compagnies aériennes. Il s'agit de «coûts économiques» associés au voyage aérien; la seule différence étant que certains sont absorbés «à l'interne» par les fournisseurs ou les utilisateurs des services commerciaux, alors que d'autres sont imposés de façon «externe» à d'autres parties.

Tous les coûts, qu'ils soient internes ou externes, doivent être pris en compte si l'on veut appliquer des pratiques d'établissement de prix efficientes. Par exemple, la clientèle des compagnies aériennes devrait absorber les coûts environnementaux qu'elle impose à la société en général, de la même façon qu'elle paie pour utiliser les installations aéroportuaires. En général, comme les préoccupations environnementales occupent l'avant-scène du débat sur la politique officielle, il est inévitable que l'on s'intéressera de plus en plus aux coûts externes (bruit, pollution atmosphérique et autres coûts environnementaux), dus à l'activité des aéroports. Cependant, ce genre de progrès, à lui seul, ne devrait pas compromettre l'efficience économique, mais plutôt ajouter une certaine pression pour que les prix en viennent à refléter les coûts internes et externes.

La poussée écologiste ne s'est pas faite sentir que sur le plan de la tarification des activités aéroportuaires actuelles, et elle a eu un effet sur les politiques et les pratiques en vigueur. Ainsi, on impose désormais des évaluations environnementales de plus en plus exigeantes à tous les projets de construction ou d'agrandissement d'aéroports. Récemment, l'accroissement de la capacité des pistes aux aéroports internationaux de Toronto et de Vancouver a été soumis au processus d'évaluation et d'examen en matière d'environnement (PEEE), administré par le Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales (BFEEE). Dans les deux cas, le ministre de l'Environnement a nommé une commission qu'il a chargé d'examiner les propositions de Transports Canada. Pour chaque aéroport, Transports Canada a dû préparer des énoncés d'incidences environnementales (EIE) qui ont été examinées à la loupe par la commission, à l'occasion de consultations et d'audiences publiques.

Le PEEE ralentit forcément l'avancement des grands projets. Outre le fardeau administratif qu'il représente, il impose, pour tous les projets d'investissement public, une rigueur financière et économique qui est plus grande qu'en l'absence de tels examens. La majorité des énoncés d'incidences environnementales, surtout pour les projets concernant les grands aéroports, devraient inclure une étude coûts-avantages des plus rigoureuses. En effet, et même s'il existe d'autres lignes directrices du Conseil du Trésor qui exigent le même genre d'examen financier minutieux, la rigueur avec laquelle les études de coûts-avantages ont été effectuées dans le cas des projets d'accroissement de la capacité des pistes, à Toronto et à Vancouver, est sans doute en grande partie attribuable aux exigences du PEEE. Il est permis de douter que certains «éléphants blancs» du passé auraient pu franchir l'étape de cet examen rigoureux qui est imposé de nos jours. Par conséquent, plutôt que de gêner l'efficience économique, le processus d'évaluation environnemental pourrait fort bien y contribuer.

3. Problématique de l'investissement dans les aéroports

Les aéroports, comme toutes les autres grandes infrastructures publiques, sont caractérisés par le côté monolithique, indivisible de leur capacité, autrement dit par le fait que cette dernière ne peut être augmentée de façon progressive et régulière, mais uniquement par à-coups massifs. Les améliorations apportées aux installations de navigation et de contrôle de la circulation aérienne, aux voies de circulation, aux installations de traitement des passagers et aux voies d'accès peuvent, dans une certaine mesure, accroître la capacité du réseau de pistes existant, ainsi que des aérogares, mais sous l'effet de l'augmentation de la demande, de nouvelles pistes et aérogares finissent par être nécessaire[7]. À ce stade, il n'est ni techniquement ni économiquement réalisable de construire la moitié d'une piste ou la moitié d'une aérogare : l'augmentation de la capacité des pistes et des aérogares passe donc par des investissements importants et fixes. À cause de la nature modulaire de l'augmentation de cette capacité, toute capacité additionnelle peut, au début, être sous-utilisée; par contre, au rythme de l'augmentation du trafic, la congestion s'installe et les retards qu'elle entraîne augmentent. La présente partie du rapport traite des critères économiques régissant les investissements dans les aéroports, tout d'abord d'un point de vue théorique, puis sous la forme de deux études de cas portant sur l'augmentation de la capacité des réseaux de pistes de grands aéroports.

3.1 CONSIDÉRATIONS D'ORDRE THÉORIQUE

Les critères de décision

La maximisation des avantages sociaux nets est le critère économique qui permet d'évaluer les politiques officielles ayant une incidence sur un certain nombre de groupes différents. Par définition, ce critère prend en compte les avantages et les coûts imputables à tous les particuliers visés par une politique donnée, de sorte qu'il devient possible de se faire une idée de l'avantage net de cette politique, pour la société toute entière. Le concept d'avantage social net (ASN) englobe non seulement les coûts et les avantages privés, directement attribuables aux fournisseurs et aux usagers d'un service, mais également les coûts et les avantages externes imputables à des tierces parties. Ainsi, l'évaluation d'un projet de construction d'une piste, à l'aide du critère ASN, revient à peser les coûts de la piste, tant pour l'exploitant de l'aéroport que pour la collectivité voisine qui souffre du bruit et d'une dégradation de l'environnement, et les avantages que rapporte la piste, tant pour les usagers que pour ceux qui bénéficieront de retombées économiques éventuelles. Dès lors, l'ASN d'une politique prévoyant la construction d'un piste, correspond à la somme de tous les avantages sociaux, diminuée de la somme de tous les coûts sociaux.

L'application, à la prise de décisions, du concept d'avantage social net en tant que critère économique, exige l'évaluation des coûts et des avantages selon une même unité, en dollars, par exemple. Afin de s'assurer que l'ASN traduit effectivement l'importance que la société accorde à une politique donnée, les coûts et les avantages qui ne s'expriment normalement pas en termes commerciaux, sont affectés de la valeur que leur accordent les particuliers concernés, valeur que l'on juge à leur volonté de payer une certaine somme pour bénéficier d'un avantage ou pour éviter un certain coût[8]. Lorsque les avantages et les coûts sont définis de la sorte, l'ASN est l'expression de l'augmentation de «bien-être social» ou du «surplus économique» attribuable à la politique, autrement dit, de la valeur que la société reconnaît à la politique, moins les coûts sociaux correspondant à sa mise en œuvre.

Mais, une politique présentant un avantage collectif positif, voire maximal, ne fait pas forcément le bonheur de tout le monde. Pour en arriver à un ASN positif, il suffit seulement que les avantages que certains retirent d'une politique soient supérieurs aux coûts que les autres ont à absorber. Par conséquent,

l'adoption d'une politique présentant un ASN positif est pleinement justifiée quand il est possible de redistribuer les incidences de la politique de sorte que personne ne soit véritablement perdant, et que tout le monde soit plus ou moins gagnant. En théorie, les gagnants pourraient compenser les perdants et pouvoir tout de même retirer quelque chose. Quant aux perdants, ils ne seraient pas plus défa-vorisés qu'avant l'adoption du projet et du programme de compensation de la politique, puisque leur coût social, mesuré par l'ASN, équivaudrait au prix qu'ils seraient prêts payer pour obtenir la suppression de la nouvelle politique, et donc au montant qu'ils seraient disposés à accepter à titre d'indemnisation pour le maintien de la nouvelle politique. Ce concept est connu sous le nom de «principe de la compensation»[9]. On considère qu'une politique qui présente un ASN positif est socialement valable, parce que si les personnes bénéficiant des dispositions de cette dernière devaient compenser les perdants, tout le monde se trouverait au moins aussi bien loti qu'avant sa mise en œuvre.

Même si la maximisation de l'avantage social net peut sembler être un critère économique valable sur lequel fonder le choix des politiques, celui-ci peut cependant poser certains problèmes. Ainsi, une politique correspondant à un ASN maximal pourrait imposer des pertes très importantes à certains particuliers, même si elle se traduisait par des avantages nets positifs pour la société tout entière, si l'on ne prévoyait pas que les perdants soient compensés. La formule qu'il convient de retenir est la suivante : *si* les «perdants» étaient compensés et si les «gagnants» continuaient à retirer certains avantages de la politique, alors on pourrait juger que le ASN est positif. Si les coûts d'une politique correspondant à un ASN positif étaient concentrés sur un seul groupe (comme les riverains d'un aéroport), et que les avantages soient, quant à eux, largement répartis au niveau du public voyageurs, les perdants seraient beaucoup plus portés à entreprendre des démarches contre la politique que les membres du grand public. Il en résulterait fort probablement la constitution de groupes d'intérêts qui s'opposeraient à une politique qui, sur le plan de l'efficience économique, serait pourtant intéressante pour la société tout entière. Sous l'effet de l'intervention de tels groupes d'intérêts, l'application des critères d'ASN au choix d'une politique pourrait être limitée, à cause de la nature intrinsèque de notre démocratie représentative.

De plus, la façon dont les gains et les pertes sont répartis entre les membres de la société peut être la source de préoccupations d'ordre social. On aura peut-être pour objectif politique de choisir des programmes qui, non seulement, maximisent l'ASN — autrement dit l'importance du gâteau économique — mais qui favorisent également la répartition des coûts et des avantages — notion de partage du gâteau — suivant un critère d'équité[10] comme l'accès.

Un autre type de critère d'équité, qui peut être préoccupant sur le plan politique, est l'incidence des programmes sur les groupes à faible revenu, par rapport aux groupes à haut revenu. L'objectif politique qui consiste à sélectionner des programmes favorisant une répartition équitable des revenus entre les différentes couches de la société est totalement absent du critère d'ASN que nous venons d'énoncer. Le fait d'additionner les coûts et les avantages au niveau de l'ensemble des particuliers, sans aucune pondération, pour en arriver à l'avantage social net, suppose implicitement qu'il existe une utilité marginale du revenu qui soit constante, autrement dit le fait que les particuliers à faible revenu accordent à un avantage ou à un coût, exprimé en dollars, la même valeur que les particuliers à haut revenu. Un critère qui viserait à égaliser la répartition des revenus dans la société accorderait plus de poids à l'avantage pécuniaire reçu par une personne à faible revenu qu'au même gain reçu par une personne à haut revenu. Par conséquent, l'hypothèse d'une utilité marginale de revenu égale revient à passer outre les effets distributifs d'une politique donnée sur le plan du revenu, ou à supposer qu'ils sont négligeables[11].

Choix du moment pour l'investissement

Dès qu'il s'agit d'accroître la capacité d'un aéroport, le planificateur se heurte au problème de devoir déterminer l'ampleur et le moment optimaux des travaux d'accroissement de la capacité. Si le planificateur ne se préoccupe que d'efficience économique, le cheminement optimal est celui qui permet de maximiser l'avantage social net du projet d'accroissement. Dès lors, la solution consiste à trouver une règle de décision établissant l'ampleur des travaux et le choix du moment permettant de maximiser l'ASN.

En pratique, cette règle de décision obéit à des contraintes d'ordres technique (aspects physiques et conception) et économique (économie d'échelle) qui, pour un moment donné, restreignent le nombre des possibilités

d'accroissement à quelques options réalisables. Il est possible de simuler les flux de coûts et d'avantages supplémentaires (en comparaison avec certaines options communes de cas de référence) associés à chacune des options d'accroissement de la capacité, et de calculer la valeur actuelle nette (VAN). Selon les pratiques conventionnelles d'analyses coûts-avantages[12], la politique optimale pourrait simplement consister à choisir l'option présentant la VAN positive le plus important ou encore le scénario de référence, si la VAN correspondant à toutes les autres options est négative. On peut alors soumettre l'option sélectionnée à une analyse de sensibilité, afin d'établir si le fait d'en retarder l'application peut donner lieu à un accroissement de la VAN[13]. Cependant, une politique de ce genre, qui ne prend en compte que le moment optimal de mise en oeuvre de l'option retenue (l'option présentant la VAN la plus élevée pour une construction entamée sans retard), mais non le moment optimal de mise en oeuvre des autres options, ne permettrait pas forcément d'accroître la capacité de telle façon à maximiser la VAN des avantages sociaux nets.

Toute politique d'augmentation optimale de la capacité doit permettre d'optimiser à la fois l'ampleur de l'augmentation de la capacité et le choix du moment pour débuter les travaux. Qui plus est, la politique doit tenir compte de la possibilité que des dates de début autres que la date actuelle, pour *l'ensemble* des options, donnent lieu à un changement de l'option privilégiée. Autrement dit, l'option présentant la VAN la plus élevée pour une construction débutée sans tarder, peut ne pas constituer l'option présentant la VAN la plus élevée pour une construction future. Afin de prendre en compte cette possibilité, il faut que la règle de décision optimale, à propos de l'accroissement de capacité, précise la date de début qui maximise la VAN (moment le plus opportun) pour chaque option d'agrandissement, de sorte que le choix final puisse se fixer sur l'option d'agrandissement présentant la VAN non négative la plus élevée et pouvant être réalisée au *moment le plus opportun.*

Une comparaison entre l'avantage supplémentaire d'un ajournement des travaux d'agrandissement et les coûts supplémentaires qu'entraîne une telle décision permet de déterminer le moment le plus opportun pour la mise en oeuvre d'une option d'accroissement de capacité[14]. L'avantage de retarder la mise en oeuvre d'un projet d'une année correspond à l'économie des coûts d'opportunité en capital pendant cette même année[15]. Par contre, les coûts correspondent à la perte d'avantages nets (économies sur le plan de

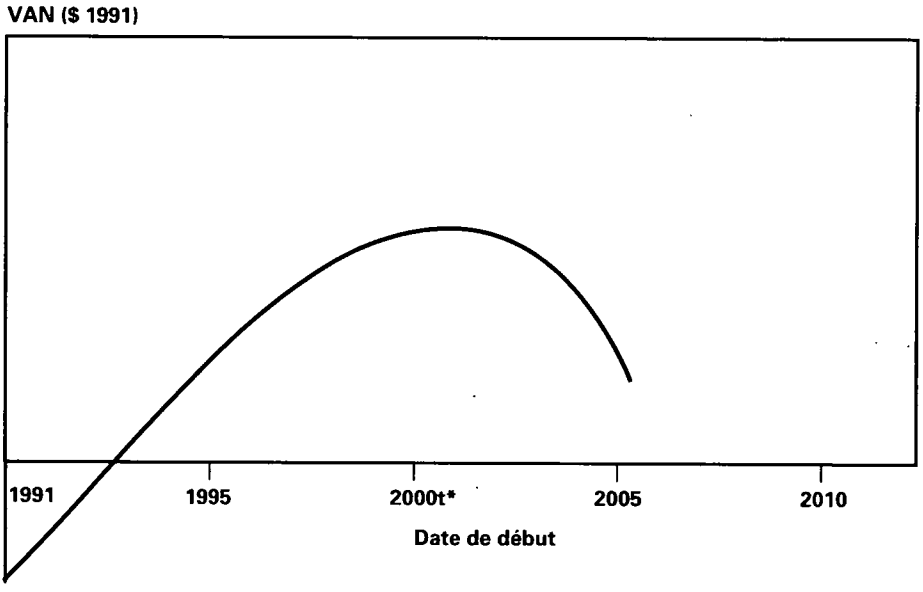
la congestion, moins coûts d'entretien et d'externalités, par rapport au scénario de référence) que l'augmentation de la capacité aurait pu rapporter pendant cette première année d'exploitation. Le report se justifie tant que l'avantage qu'on retire d'un retard d'un an est supérieur au coût que cela entraîne. Si, parce que les travaux d'agrandissement ne débutent pas, la congestion augmente de façon monotone dans le temps, et donc si l'avantage annuel de l'augmentation de la capacité augmente également de façon monotone, alors le coût attribuable à un report d'une année augmente dans le temps[16]. Par contre, les avantages qu'il y a de reporter ces travaux d'une année (économie d'intérêts sur le capital d'agrandissement) demeurent constants dans le temps.

Cela étant posé, il s'ensuit qu'il y a un seul point dans le temps où les avantages équivalent très précisément au coût du report d'un projet d'agrandissement d'une année. Ce point correspond à la date de début qui maximise la VAN de l'option d'agrandissement, autrement dit t* (voir la figure 1). Avant cette date de début optimale, les coûts (les avantages concédés) que représente le retard du projet sont inférieurs aux avantages (économie sur les intérêts); par conséquent, le fait de remettre l'application d'une option d'agrandissement augmente la VAN de cette dernière. Une fois passé la date de début optimale, le coût qu'entraîne le retard d'un projet est supérieur aux avantages et, tout retard supplémentaire ne peut qu'occasionner une diminution de la VAN de l'option retenue. Cela étant, si l'on suppose une augmentation monotone des avantages de l'agrandissement dans le temps, l'année optimale durant laquelle l'option doit être mise en oeuvre correspond à la première année où l'avantage net des travaux d'agrandissement correspond au coût d'opportunité du capital d'expansion; autrement dit, il s'agit de la première année où

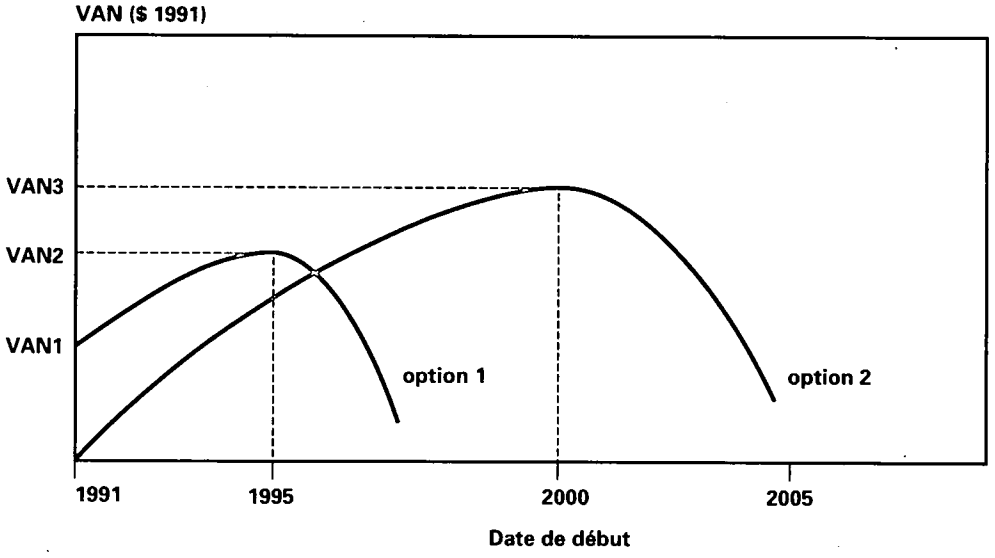
$$(B_t - M_t - E_t) \geq rK$$

où B_t est l'économie de coût découlant d'une diminution de la congestion annuelle, M_t le coût additionnel annuel de fonctionnement et d'entretien, E_t le coût annuel net des effets externes, r le taux social d'actualisation et K le coût de l'immobilisation[17,18].

Figure 1
VARIATION DE LA VAN EN FONCTION DE LA DATE DE DÉBUT



VARIATION LE L'OPTION RECOMMANDÉE EN FONCTION DE LA DATE DE DÉBUT



L'existence d'une seule et unique date de début optimale pour n'importe quelle option d'agrandissement découle de l'hypothèse voulant que les avantages nets d'un projet d'agrandissement (à l'exception des coûts des immobilisations) augmentent de façon continue dans le temps. Si l'hypothèse d'une augmentation monotone des avantages nets ne se réalisait pas, alors la règle de décision relative au moment optimal que nous venons de formuler, ne s'applique pas et le moment le plus opportun pour engager des travaux d'agrandissement doit être déterminé par simulation de toutes les dates de début possibles et par la sélection de celle qui permet de maximiser la VAN[19]. Ce faisant, cette dernière hypothèse d'une augmentation monotone des avantages nets a toute les chances d'être valable dans le cas des investissements aéroportuaires car, à cause de la capacité indivisible particulière au domaine, en l'absence d'une augmentation de la capacité la congestion augmente en même temps que la demande et, par conséquent, les avantages de l'augmentation de capacité s'accroissent dans le temps.

Si l'on choisit l'option d'agrandissement recommandée parmi tout un ensemble d'options correspondant au moment le plus opportun, on est certain que la VAN d'accroissement de capacité est maximisée sur le plan de l'ampleur des travaux et du choix du moment d'exécution. Si l'on applique une règle de décision établissant un choix entre les options d'agrandissement devant débuter à une date actuelle, plutôt qu'à des dates de début optimales, on risque de modifier le choix de l'option d'agrandissement et, par conséquent, d'accroître la capacité d'une façon qui ne maximise pas la VAN. La figure 1 nous fournit également un exemple de décision non optimale, prise selon une règle de décision maximisant la VAN de l'année en cours, pour des dates de début de l'année en cours, plutôt que pour l'ensemble des dates de début possibles. Au bas de la figure 1, les options 1 et 2 représentent deux possibilités d'agrandissement réalisables. Pour chaque option, les dates de début potentielles sont reportées en regard de la VAN de 1991 correspondant à l'application de l'option à chaque date de début.

L'option 2 représente un accroissement de la capacité beaucoup plus important que l'option 1, les coûts des immobilisations et les avantages sur le plan de l'allégement de la congestion sont également plus importants, surtout dans les dernières années. Or, étant donné que les coûts des immobilisations sont plus importants, il faut que les coûts de la congestion soient également plus importants pour compenser les avantages que présentent les économies

sur les intérêts découlant du report de l'option 2; par conséquent, la VAN de l'option 2 se trouve maximisée à une date de début qui est plus tardive (2000) que dans le cas de l'option 1 (1995). Bien que les coûts d'immobilisation supérieurs associés à l'option 2 font que la date de début optimale intervient plus tard et que la VAN est inférieure à celle constatée pour l'option 1, pour des dates de début plus précoces, les avantages supérieurs que rapporte l'option 2 dans les dernières années font que celle-ci a une VAN supérieure pour 1991 à celle de l'option 1 sous réserve qu'il soit possible de retarder la mise en oeuvre de l'option 2 jusqu'à l'an 2000. Une politique correspondant à un choix entre les deux options, d'après les seules dates de début de 1991, favoriserait l'option 1 ce qui reviendrait à parachever la VAN1 en 1991. Une politique qui consisterait à évaluer plus à fond la période optimale pour l'option recommandée, l'option 1, pourrait justifier le retard de l'option 1 jusqu'en 1995, afin que la VAN de 1991 passe à VAN2. Et pourtant, cette politique ne maximiserait pas pour autant la VAN en 1991. Une politique optimale consisterait à évaluer la période optimale des deux options et à recommander la mise en oeuvre de l'option 2 en l'an 2000, ce qui reviendrait à une VAN maximale correspondant à VAN3 en dollars de 1991.

Par conséquent, en règle générale, il est important que l'analyse du moment optimal soit effectuée avant, plutôt qu'après la sélection de l'option d'accroissement de capacité recommandée. Dans certains cas, on retiendra la même option, peu importe qu'on envisage la date optimale de début avant ou après la sélection de l'option. C'est par exemple ce qui se produit lorsque toutes les options sont «en retard» (autrement dit quand on a dépassé les dates de début optimales); le moment opportun pour toutes les options est alors le moment présent, si bien que le simple choix de l'option présentant la VAN la plus élevée pour une date de début immédiate permet de maximiser la VAN de date actuelle. C'est sans doute ce qui s'est produit à l'occasion des récentes études concernant les travaux d'accroissement de la capacité des pistes aux aéroports internationaux de Pearson et de Vancouver, où l'on a constaté que les options recommandées étaient en retard et où une mise en oeuvre immédiate s'imposait[20]. Ces recommandations auraient pu se justifier comme deuxième choix, mais, pour une politique de planification à long terme, la meilleure solution commande que l'augmentation de la capacité intervienne au moment opportun, et non plus tard.

Afin de parvenir à une politique de planification à long terme permettant de réaliser des travaux d'expansion d'envergure optimale et intervenant en temps opportun, il faut aller au-delà des règles de décision relativement aux

études coûts-avantages pour envisager la question de l'opportunité et de la fréquence des études elles-mêmes. Certes, un compromis s'impose alors entre les coûts administratifs que représente la tenue plus fréquente de telles études et les avantages que l'on en retire par l'amélioration du choix du moment. L'approche classique coûts-avantages de la planification de tout investissement à longue échéance ne constitue une solution sûre que pour la moitié seulement du problème d'investissement à long terme auquel sont confrontés les planificateurs. L'approche classique s'attaque à la question du genre d'investissement à effectuer au moment présent, puis au choix du moment de l'investissement. La solution optimale consiste à adopter une vision à long terme, face au problème de la planification des investissements à longue échéance, en se posant tout d'abord la question du moment optimal auquel il convient d'effectuer un certain nombre d'investissements, puis en se demandant laquelle de ces options envisagées à son moment de début optimal devra être mise en oeuvre. Donc, la politique optimale d'investissement à long terme revient, tout d'abord, à déterminer le moment optimal auquel on doit appliquer chacune des options d'accroissement de capacité réalisables, ce qui se passe au cours de la première année où l'avantage net des travaux envisagés est supérieur au coût d'opportunité du capital d'immobilisations[21]. On retient ensuite l'option qui, appliquée à la date la plus opportune, donne lieu à la plus importante VAN au moment présent.

3.2 AÉROPORT INTERNATIONAL DE VANCOUVER[22]

Portée

Après la reprise économique qui a débuté en 1985, le trafic aérien à l'aéroport international de Vancouver (YVR) s'est accru rapidement, au rythme annuel moyen de 11 pour cent, de 1984 à 1988. Cet accroissement de l'activité aérienne est dû au rôle de plus en plus important qui incombait à YVR en tant que plaque tournante accueillant les services aériens régionaux, suite à la déréglementation du transport aérien et à une augmentation du trafic dans les pays de la bordure du Pacifique. En réponse à cette activité débordante et après avoir constaté les retards que cela occasionnait dans l'écoulement du trafic, Transports Canada a lancé son projet d'accroissement de la capacité des pistes (ACE) en 1988. Ce dernier a permis de constater l'existence d'un problème de congestion des pistes en périodes de pointe, et de dégager un certain nombre de mesures à court terme destinées à améliorer la situation[23]. Parmi les mesures recommandées, mentionnons les modifications à

apporter au réseau de pistes, la modernisation des installations de navigation aérienne, la modification des procédures de contrôle de la circulation aérienne et l'imposition d'une redevance minimale à l'atterrissage de 25 $ en période de pointe afin de détourner une partie des avions à moteur à pistons vers d'autres aéroports. On prévoyait que l'ensemble de ces mesures allait donner lieu à une amélioration d'environ 8 pour cent de la capacité des pistes d'YVR; en fin de compte, ces mesures ont été retenues pour former le scénario de référence de l'étude. Toutefois, comme on prévoyait également que, malgré l'application de ces correctifs, le trafic continuerait d'augmenter jusqu'à correspondre à la nouvelle capacité et occasionner de nouveaux retards d'ici 1991, on a conclu à la nécessité de construire une nouvelle piste.

Plusieurs options d'accroissement de la capacité furent alors formulées et comparées aux données du scénario de référence; chacune d'elles englobait les améliorations de base à apporter aux infrastructures existantes. Ces options d'accroissement de la capacité étaient les suivantes : imposition d'une redevance minimale à l'atterrissage de 25 $ ou de 100 $ en période de pointe; construction d'une nouvelle piste de 5 000, de 8 000 ou de 9 400 pieds, parallèle à la piste principale; imposition d'une redevance de 25 $ ou de 100 $ en période de pointe combinée à la construction d'une piste parallèle et, enfin, imposition d'un droit de 100 $ en période de pointe, combinée à l'aménagement de pistes et d'aérogares à des aéroports secondaires en période de pointe/sur la côte sud de la Colombie-Britannique continentale. Cette dernière option prévoyait d'ailleurs l'aménagement d'Abbotsford International en tant qu'aéroport secondaire apte à accueillir les transporteurs principaux; l'amélioration du réseau de transport de surface entre les deux aéroports secondaires; l'aménagement de l'aéroport de Boundary Bay pour lui permettre d'accueillir le trafic non commercial et l'imposition d'un droit minimum atterrissage de 100 $ en période de pointe à l'aéroport international de Vancouver, de sorte à encourager l'utilisation des installations secondaires. Pour l'ensemble des options proposées, les droits de période de pointe auraient été imposés au cours des périodes les plus occupées à YVR, soit en semaine, entre 7 heures et 19 heures.

La vaste gamme des options d'investissement envisagées dans le cadre de l'étude était la garantie que l'agrandissement des pistes à YVR ne serait recommandé que si l'on y trouvait un avantage économique, autrement dit une valeur actuelle nette (VAN), supérieur à celui des autres formules d'allégement de la congestion. En plus de l'amélioration de l'efficacité du

scénario de référence et de l'aménagement d'aéroports secondaires, le recours à une politique de prix (en tant que solution de remplacement à l'investissement) représente un des aspects importants de cette étude. À cet égard, l'imposition d'une redevance en période de pointe, seule et en combinaison avec la construction d'une piste parallèle, a permis de s'assurer que cette dernière ne serait recommandée que si elle se justifiait en tant que solution additionnelle ou de substitution à l'établissement d'un tarif en période de pointe.

Si on en était venu à conclure que les redevances, appliquées indépendamment, auraient eu un avantage économique supérieur (VAN) à la construction d'une piste sans autre mesure d'accompagnement, la comparaison entre, d'une part, la valeur de la piste associée à l'imposition d'une redevance et, d'autre part, la valeur d'une redevance seule, aurait permis d'établir si la construction de la piste était justifiée en plus de l'application de redevances. D'un autre côté, si l'on avait constaté que la construction d'une piste présentait une VAN supérieure à celle des redevances, alors la comparaison entre la VAN de la piste associée à des redevances, et la VAN de la piste seule aurait indiqué si l'application de redevances était justifiée en plus de la construction de la piste. Dans tous les cas, l'option «piste plus redevances» n'aurait pas été nécessairement supérieure aux options «piste seule» ou «redevances seules», parce que les travaux de construction et l'application de redevances sont deux formules de recharge susceptibles de régler le problème de la congestion. Comme la justification de ces deux options est fonction des retards à l'atterrissage et au décollage, l'application de l'option conjointe (construction et application de redevances) ne pouvait se justifier que s'il demeurait une congestion suffisante après l'application d'une seule de ces deux solutions.

Conformément aux critères d'analyse coûts-avantages, l'étude a non seulement consisté à envisager une gamme étendue d'options, mais aussi à analyser les avantages et les coûts sociaux de chacune d'elles. Les avantages de chaque option (en comparaison avec le scénario de référence) résident dans la diminution des coûts associés au retard dû à la congestion, que ce soit en déplaçant certains vols des périodes de pointe aux périodes creuses, en détournant des avions vers d'autres aéroports, ou en augmentant la capacité des pistes à YVR. Ces dernières options permettent une augmentation du trafic, au-delà des niveaux du scénario de référence, parallèlement à une diminution des coûts dus aux retards. Le trafic «induit», composé d'avions

qui n'auraient pas emprunté YVR sans une amélioration du réseau de pistes, augmente le gain de surplus des consommateurs en vertu des options d'agrandissement du réseau de pistes, surplus qui s'ajoute aux économies réalisées grâce à la suppression des retards, que permet l'augmentation de la capacité, pour le volume de trafic du scénario de base. Les options prévoyant l'application d'une redevance aux heures de pointe, en vue d'alléger la congestion à YVR, donnent lieu à une diminution nette du trafic de pointe et, par conséquent, ne génèrent pas un trafic qui soit supérieur à celui correspondant au scénario de référence.

Par contre, d'après les options prévoyant l'application de redevances, une partie du trafic du scénario de référence est détournée d'YVR, ce qui occasionne une perte de surplus des consommateurs.

Le deuxième grand type d'avantage qui découle de l'augmentation de la capacité, est celui du bénéfice macro-économique supplémentaire, découlant de l'augmentation de l'activité liée à l'aéroport, grâce au trafic «induit». On ne peut parler d'avantages macro-économiques dans le cas d'une option d'expansion, que si de tels avantages ne peuvent survenir quand les ressources mises en oeuvre pour augmenter la capacité d'un aéroport sont consacrées à d'autres fins. Dans l'étude des options d'augmentation de la capacité d'YVR, on a effectivement calculé les avantages macro-économiques, mais on l'a fait à part, plutôt que de les incorporer dans les VAN des différentes options. Les règles de prudence en matière de planification des investissements commandent que les décisions ne soient prises que sur la base des avantages qu'en retirent les usagers, car «les effets macro-économiques que stimulent les projets d'infrastructure sont très faibles, comparativement au volume global de l'activité macro-économique et, par conséquent, ils sont beaucoup moins fiables que les estimations des avantages pour les usagers (. . .) sans compter l'incertitude relative aux effets de stimulation des autres utilisations possibles des fonds d'immobilisations, risque de donner lieu à une double comptabilisation des avantages»[24].

Approche

Il est possible de fonder l'estimation des coûts d'immobilisations et de F et E correspondant aux options d'investissement aéroportuaires sur des procédures bien définies d'établissement des coûts de conception et d'évaluation des incidences économiques. Dans l'étude coûts-avantages des

options d'augmentation de la capacité d'YVR, l'un des problèmes de mesure relatifs aux coûts d'immobilisations était celui de la répartition des coûts d'immobilisations et des coûts de F et E au titre de l'amélioration du réseau de transport de surface en vue de desservir l'aéroport secondaire. Il a été décidé d'entreprendre une analyse de sensibilité afin d'évaluer l'éventuel effet d'une affectation, à cette option, de la moitié ou de la totalité des coûts du transport en surface. Le second problème d'évaluation était celui du coût du terrain sur lequel la piste parallèle devait être construite. L'étude a déterminé que le coût des terrains de l'île Sea était égal à zéro, puisqu'on a estimé qu'ils n'auraient servi à rien d'autre qu'à la construction d'une piste parallèle. La Commission fédérale d'évaluation environnementale, qui a été chargée d'examiner le rapport coûts-avantages, a toutefois soutenu que ces terrains auraient dû être «évalués sur une base commerciale associée à l'aéroport[25].

Le calcul des avantages et des coûts pour les usagers inhérents à l'accroissement de la capacité d'un aéroport doit faire l'objet d'une attention toute particulière, puisqu'il faut prévoir le volume de trafic en période de pointe ainsi que la durée moyenne des retards. Toute diminution des retards par rapport au scénario de référence, rendue possible grâce à telle ou telle option, est alors appliquée au volume de trafic du scénario de référence pour en arriver à une approximation du nombre total de minutes de retard économisées. Si une option a pour objet d'alléger la congestion par le décalage des vols des périodes de pointe aux périodes creuses, ou par le détournement d'avions vers les aéroports secondaires, on peut parvenir à une approximation des économies pouvant être réalisées par la diminution des retards en appliquant le temps ainsi gagné au reste du trafic. Dans les deux cas, il est possible de transformer le nombre de minutes de retard économisées en avantages financiers (exprimés en dollars) par l'application des données existantes de coûts d'exploitation des avions (coûts à la minute), des coefficients de remplissage des appareils et des valeurs du temps des passagers commerciaux et non commerciaux .

Il est également possible de calculer directement le gain du surplus des consommateurs ainsi que les coûts dus au trafic induit et au trafic détourné, à partir des prévisions de volume de trafic et des économies relatives aux coûts des retards, à condition d'émettre certaines hypothèses quant à l'élasticité de la demande de mouvements aériens. L'avantage pour chaque mouvement aérien induit (c'est-à-dire, au-delà du trafic prévu dans le scénario de référence) est une fraction des économies réalisées sur les coûts dus au

retard, pour les mouvements du scénario de base, et où la fraction est fonction de l'élasticité de la demande. Dans l'étude d'YVR, on a obtenu de proportions de un demi à un tiers, ce qui est conforme à l'hypothèse des courbes de demande dont la forme varie entre celle d'une courbe linéaire et celle d'une courbe log-linéaire. Les pertes de surplus des consommateurs découlant du déroutement d'une partie du trafic, ont été calculées de la même manière et exprimées comme une fraction de l'augmentation des redevances en période de pointe.

Donc, pour évaluer les avantages et les coûts pour les usagers, qui découlent de l'accroissement de capacité d'un aéroport, il faut prévoir le volume de trafic en période de pointe, et pouvoir le transformer en retards moyens, selon la capacité précisée pour chaque option. Dans l'étude YVR, la prévision du trafic aux heures de pointe, pour le scénario de référence et les options correspondant à la construction d'une piste, fut relativement simple.On a commencé par prévoir le nombre annuel de passagers au départ et à l'arrivée, en fonction de la population provinciale et de la croissance du revenu disponible. On a ensuite accru ce volume, selon un ratio dit de «desserte de l'aéroport central», pour tenir compte du nombre de passagers en correspondance, au départ et à l'arrivée. Le nombre annuel d'embarquements et de débarquements a alors été transformé en nombre de mouvements aériens annuels, à partir d'hypothèses relatives aux tailles et aux coefficients d'occupation des avions. Enfin, le nombre annuel de mouvements sur les pistes a été transformé en nombre de mouvements représentatifs en période de pointe, à partir des régimes actuels d'utilisation.

Le processus de prévision du trafic est complexe, car il faut tenir compte de l'incidence que les retards dus à la congestion ont sur la demande. En effet, si le trafic augmente, les retards dus à la congestion augmentent également, d'où un accroissement des coûts d'utilisation de l'aéroport et une diminution de la demande de mouvements aériens. Les coûts dus aux retards entravent la croissance du trafic dans le scénario de référence, ce qui débouche sur une diminution des avantages liés aux économies découlant d'une diminution des retards (mais aussi d'une augmentation du trafic induit), à la suite de la construction de nouvelles pistes.

Idéalement, le trafic et les retards dus à la congestion devraient être évalués en même temps, grâce à un système structurel dans lequel le trafic dépend des retards et vice versa. Cependant, dans l'étude d'YVR, le trafic et les retards

ont été estimés grâce à deux modèles distincts, et l'on a commencé par évaluer le trafic, sans référence explicite aux retards, avant d'évaluer le retard sur la base du trafic. Les chercheurs ont adopté deux stratégies pour compenser le fait qu'il n'avaient pas pris en considération les effets des retards dans le modèle de prévision du trafic. Tout d'abord, ils ont modélisé les effets que les coûts dus au retard ont sur le trafic, de façon implicite, en ajustant à la hausse les hypothèses relatives à la taille des avions et aux coefficients d'occupation, et à la baisse les ratios d'aéroport central, par rapport aux scénarios de référence, de sorte à simuler la réaction des compagnies aériennes aux contraintes de capacité. Ensuite, une fois les retards calculés à partir du trafic prévu, ils ont déterminé la sensibilité des résultats de l'étude relativement à la limitation de la croissance du trafic à un niveau produisant un «retard tolérable maximum» de 20 minutes par avion.

La prévision du trafic en période de pointe, pour les options prévoyant l'imposition d'un tarif et l'aménagement d'aéroports secondaires, a été réalisée par l'ajustement des prévisions de trafic du scénario de référence. On a estimé la proportion des mouvements qui, aux heures de pointe et par type d'avions correspondant au scénario de référence, se déporteraient sur les périodes creuses, sous l'effet d'une redevance imposée aux heures de pointe, et cela à partir des résultats obtenus suite à l'application de cette formule dans d'autres aéroports. Pour ce qui est de l'option prévoyant l'amménagement d'aéroports secondaires, l'ampleur du détournement attribué à la redevance de 100 $ en période de pointe a été ajustée à la hausse afin de tenir compte du caractère plus attractif des aéroports secondaires et de l'amélioration de la capacité du réseau de transport de surface. L'intérêt accru que pouvaient susciter les aéroports secondaires a, par ailleurs, été analysé selon les types d'avions en fonction desquels les aéroports auraient été modifiés (capacité d'accueil) et de l'importance que le raccordement aérien à YVR revêt pour les exploitants (desserte de lignes secondaires).

Afin de transformer le trafic aux heures de pointe en temps de retard dû à la congestion, il a fallu simuler l'exploitation de la capacité que chaque option permettait d'obtenir en fonction de la prévision de trafic établie pour la même option. Dans le cas de l'étude sur YVR, la firme Hickling Consultants a eu recours au modèle ADSIM (modèle de simulation discrète d'activité aéroportuaire, par type d'aéronef), mis au point par la Federal Aviation Administration (FAA). À partir de la théorie des files d'attente, ce modèle permet de prédire le débit horaire et les retards moyens au décollage et à l'atterrissage, grâce

aux données relatives à la demande de trafic, à la configuration des pistes et aux procédures de contrôle de la circulation aérienne. Pour tester le modèle, on a simulé des atterrissages et des décollages sur une période de trois jours, en 1989, afin de déterminer dans quelle mesure les prévisions de débit horaire théorique étaient conformes à la réalité. Comme, dans tous les cas, les débits simulés correspondaient à la réalité à 1 pour cent près, on pouvait avoir confiance dans ce modèle en tant qu'outil de planification.

Cependant, les retards simulés pour 1989 dépassaient très nettement ceux constatés grâce au programme de contrôle des retards en vigueur à YVR. On a attribué ce phénomène à un défaut du système de contrôle, plutôt qu'à un défaut du modèle de simulation. En fait, il semble que les données recueillies grâce au programme de contrôle des retards à YVR doivent être remises en question à cause de la méthode employée. En effet, les contrôleurs-tour sont censés consigner tous les mouvements aériens, ce qu'ils n'ont pas fait dans 25,5 pour cent des cas en 1988 à cause d'autres priorités pendant les périodes de pointe[26]. Comme les retards sont nettement plus importants en période de pointe, le programme de contrôle d'YVR a systématiquement sous-estimé la valeur moyenne de ces retards.

Par conséquent, et même s'il est souhaitable d'intégrer les modèles de demande de trafic et de prévision des retards, les évaluations séparées de ces deux aspects, conduites dans le cadre de l'étude YVR, constituent une base valable pour estimer les avantages et les coûts pour les usagers, qu'entraîne un accroissement de la capacité de l'aéroport. L'estimation des avantages pour les usagers est un procédé relativement mécanique si l'on dispose de prévisions de demande plausibles, de modèles de simulation permettant de traduire la demande en retards moyens et s'il existe des prix du marché à partir desquels évaluer les économies que les exploitants d'avions et les passagers réalisent grâce à une diminution des retards.

Par contre, il peut être plus difficile de mesurer les coûts externes que le développement d'aéroports impose aux non-usagers. L'étude d'YVR a permis de dégager trois types de coûts externes associés au developpement d'un aéroport : à savoir les coûts dus au bruit, ceux dus aux effets sur la faune (dont les oiseaux) et sur son habitat, et la qualité de l'air. La méthode employée dans l'étude YVR pour mesurer les coûts dus au bruit est conforme à la théorie reconnue qui définit les différents éléments de la perte de bien-être social survenant dans un quartier résidentiel, à cause d'une augmentation du bruit ambiant. La première étape a consisté à déterminer le nombre

et la valeur des logements se retrouvant dans les nouvelles zones de bruit, suite à l'ouverture d'une nouvelle piste. La deuxième étape a consisté en la tenue d'un sondage auprès des agents immobiliers et en un examen de la documentation disponible pour estimer, par type de logement et pour chaque courbe isophonique : la proportion de familles susceptibles de déménager à cause d'une augmentation du bruit ambiant (6 pour cent en moyenne); la dépréciation de la valeur des propriétés, toujours à cause du bruit (2 à 6 pour cent); et la perte de la plus-value estimée par les ménages (valeur que ces derniers accordent à leur logement en sus de la valeur du marché; 130 pour cent en moyenne). On a également évalué le taux de migration naturelle des personnes déménageant pour des raisons non liées à l'augmentation du niveau de bruit ambiant.

On a établi une nette distinction entre les personnes déménageant à cause du bruit et celles déménageant pour d'autres raisons. Dans un cas comme dans l'autre, les propriétaires subissent des pertes à cause de la dépréciation de la valeur de leur logement; quant à ceux qui le font à cause du bruit, ils ont, en plus, à subir une perte de la plus-value estimée. Enfin, pour les ménages demeurant sur place, les coûts ne sont pas liés à la dépréciation, mais plutôt à la gêne due au bruit. Ces derniers sont forcément et techniquement inférieurs à ceux correspondant à la dépréciation et à la perte de plus-value dus à un déménagement; sinon, ces ménages seraient également partis. Par prudence, on a estimé que le coût annuel de la gêne due au bruit était tel que sa valeur actualisée était égale à la valeur actuelle de la somme des coûts de dépréciation et de perte de plus-value estimée, partant du principe que le ménage moyen resterait encore six ans en moyenne après l'ouverture de la nouvelle piste. En outre, on a calculé les coûts d'isolation acoustique pour les écoles et les hôpitaux, de même que les coûts de déménagement des personnes ayant décidé de partir à cause d'une augmentation du niveau de bruit ambiant.

Ces différentes composantes du coût supplémentaire associé au bruit ont été estimées en regard de l'agrandissement de la piste d'YVR et de l'accroissement de la capacité des pistes de l'aéroport international d'Abbotsford, pour tenir compte de la réalité future. On a supposé qu'après un certain temps, les premiers riverains auraient déménagé et que les coûts dus au bruit seraient nuls, car les nouveaux propriétaires (ayant emménagé après la mise en service de la nouvelle piste), auraient bénéficié de prix dépréciés permettant de compenser les coûts de la gêne.

Bien que l'étude d'YVR ait permis de conclure à l'existence de coûts externes autres que le bruit, seuls ces derniers ont été quantifiés. Et si l'on n'a pas quantifié les coûts pour la faune et la qualité de l'air, c'est qu'on a estimé que les avantages nets dérivés de la construction d'une piste parallèle étaient tellement importants qu'il était peu problable qu'ils soient occultés par les coûts environnementaux. Même si la Commission d'évaluation environnementale a effectivement convenu que les coûts environnementaux ne seraient pas supérieurs aux avantages nets estimés, elle n'a pas accepté l'explication fournie pour leur exclusion de l'analyse :

> Ce faisant, l'analyse sous-évalue implicitement les coûts environnementaux. L'objectif énoncé par le gouvernement dans le Plan vert est d'intégrer les critères environnementaux dans les processus d'établissement de politiques et de prise de décisions. Dans ce cas-ci, cela n'a pas été fait (. . .) il n'est plus acceptable d'exclure ces coûts des analyses économiques[27].

Comme la Commission l'a suggéré, le coût fictif raisonnable à imputer aux dommages occasionnés à la faune correspond au remplacement de l'habitat perdu, que ce soit par l'achat d'un habitat compensatoire ou par la mise en œuvre de programmes de conservation pour les habitats restants.

Constats

La figure 2 résume les constats de l'étude coûts-avantages des différentes options d'accroissement de la capacité des pistes à l'aéroport international de Vancouver. Comme on peut le voir, il a été établi que des droits d'atterrissage minimales de 25 $ et de 100 $, en période de pointe, pouvaient respectivement produire des valeurs nettes actuelles de 0,9 milliard et de 2,1 milliards de dollars. Ces chiffres sont conformes aux évaluations selon lesquelles ces droits permettraient de détourner, respectivement, 3,8 pour cent et 17,3 pour cent du trafic en période de pointe.

Avec une VAN de 3,8 ou de 3,9 milliards de dollars, on a conclu que la construction d'une piste parallèle de 8 000 ou de 9 940 pieds permettrait de dégager des avantages nets supérieurs à ceux obtenus par l'imposition d'une redevance en période de pointe. La valeur de dépassement des VAN correspondant aux options de construction d'une piste supplémentaire, par rapport aux VAN obtenues par imposition de redevances de 25 $ et de 100 $, apparaît dans les colonnes «b» et «c» de la figure. Les deux options de nature tarifaire donnent lieu à des avantages nets qui sont supérieurs à ceux

Figure 2

VALEUR ACTUELLE DES COÛTS ET AVANTAGES DES DIFFÉRENTES STRATÉGIES (MILLIONS $ 1988)

	Stratégie 1 — Scénario de référence		Stratégie 2 — Piste parallèle											Stratégie 3 — Aéroport secondaire	
			2A – 5 000 pi			2B – 8 000 pi			2C – 9 940 pi			2D – 9 940 pi et redevance de 25 $	2E – 9 940 pi et redevance de 100 $		
	1B – 25 $	1C – 100 $	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)			50 %	100 %
Avantage pour les utilisateurs :															
Transporteurs aériens			367	–62,9	–597	1834	1381	860	1890	1435	908	1890	1890	817	817
Passagers			439	–29,4	–616	2021	1575	960	2136	1605	1023	2136	2136	878	878
Total			**806**	**–92,3**	**–1213**	**3855**	**2956**	**1820**	**4026**	**3040**	**1931**	**4026**	**4026**	**1695**	**1695**
Coûts:															
Immobilisations			19	19	19	35	35	35	48	48	48	48	48	1091	2143
Fonctionnement			9	9	9	15,5	15,5	15,5	19	19	19	19	19	341	667
Sous-total			28	28	28	50,5	50,5	50,5	67	67	67	67	67	1432	2810
Bruit			34,7	34,7	34,7	43,4	43,4	43,4	43,4	43,4	43,4	43,4	43,4	10	10
Total			**62,7**	**62,7**	**62,7**	**93,9**	**93,9**	**93,9**	**110,4**	**110,4**	**110,4**	**110,4**	**110,4**	**1442**	**2820**
Valeur nette actuelle			734	–164	–1285	3761	2862	1726	3915	2929	1820	3915	3915	253	–1124
Taxes d'atterrissage															
Avantages	921	2140										326	633		
Coûts	1,3	17										1,3	17		
Avantages nets	919,7	2123										324,7	616		
Valeur nette actuelle	919,7	2123										4240,6	4531,6		

Source : Hickling Corporation, ***Economic Analysis of Airfield Capacity Enhancement Strategies for Vancouver International Airport,*** **mars 1990, p. iv.**

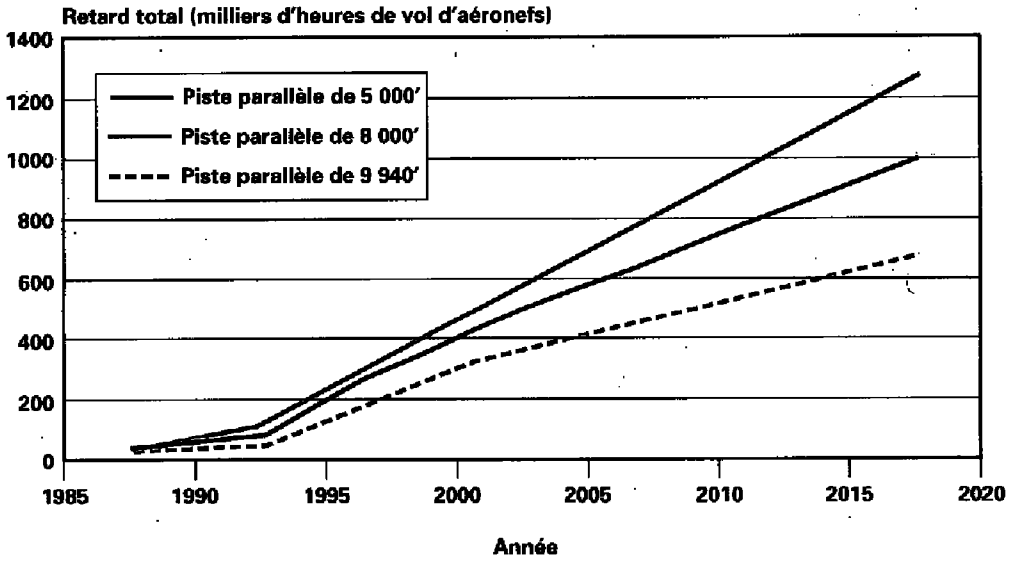
Nota : **1. Les sous-stratégies a, b et c, de la stratégie 2, prévoient l'application de taxes d'atterrissage minimales en période de pointe de 0 $, de 25 $ et de 100 $, respectivement, pour le scénario de référence. Les données indiquées à la stratégie 3 obéissent aux deux possibilités d'imputation des coûts du transport de surface (50 % ou 100 %). Les gains macroéconomiques sont de 2 576 milliards de dollars dans le cas de la stratégie 2 et de 211 millions de dollars dans le cas de la stratégie 3.**

obtenus par la construction d'une piste plus courte de 5 000 pieds, ne pouvant donc accueillir qu'un nombre limité de types d'avions. On a également trouvé que ces options étaient supérieures à celles de l'aménagement d'un aéroport secondaire, et cela peu importe que l'on impute à cette dernière option la moitié ou la totalité des coûts de l'infractructure de transport en surface. Le fait qu'une redevance de 100 $ en période de pointe produise, à elle seule, une VAN supérieure à celle obtenue par l'application d'une redevance de 100 $ en période de pointe associée à l'aménagement d'un aéroport secondaire, tient aux importants coûts d'immobilisations que nécessite l'amélioration du réseau de transport en surface. En outre, ce constat s'appuie sur l'hypothèse fondamentale voulant que la mise en service d'un aéroport secondaire aménagé — et donc l'application d'une redevance en période de pointe pour encourager l'utilisation de ce dernier — n'intervienne pas entièrement avant 2001.

Bien qu'on ait jugé préférable à l'aménagement d'un aéroport secondaire la simple application de redevances en période de pointe, et qu'on ait estimé que la simple construction de pistes plus longues était supérieure à l'application de redevances en période de pointe, on a conclu que la construction d'une piste plus longue, combinée à l'application d'une redevance en période de pointe, était préférable à la simple construction d'une piste. Cette conclusion est tout à fait conforme à un constat voulant que la construction d'une piste seule ne permettrait pas de supprimer entièrement retards et congestion, pas plus dans l'immédiat que pour la période visée par l'étude (jusqu'en l'an 2018). En fait, dans le cas de la construction d'une piste de 9 940 pieds, on a prévu qu'en 2005, les retards équivaudraient de nouveau à ceux de 1988. Par conséquent, l'application d'une redevance en période de pointe, doublée de la mise en service d'une piste parallèle, présenterait un supplément net d'avantages positifs, même si ces derniers ne seraient pas aussi importants que ceux découlant de la simple application d'une redevance en période de pointe.

On a conclu que la combinaison investissement et politique de prix qui présentait la VAN la plus importante était la construction d'une piste de 9 940 pieds et l'application d'une taxe d'atterrissage minimale de 25 $ ou de 100 $ en période de pointe. Bien que ce soit la taxe de 100 $ qui produise la VAN la plus élevée (4,5 miliards de dollars), contre 4,2 milliards de dollars pour une taxe de 25 $, la différence entre ces deux montants est statistiquement insignifiante. Dès lors, on a recommandé d'appliquer une redevance

Figure 3
STRATÉGIE 1 — SCENARIO DE RÉFÉRENCE
RETARD ANNUEL TOTAL, 1988-2018



STRATÉGIE 2 — MISE EN SERVICE D'UNE PISTE PARALÈLLE
RETARD ANNUEL TOTAL

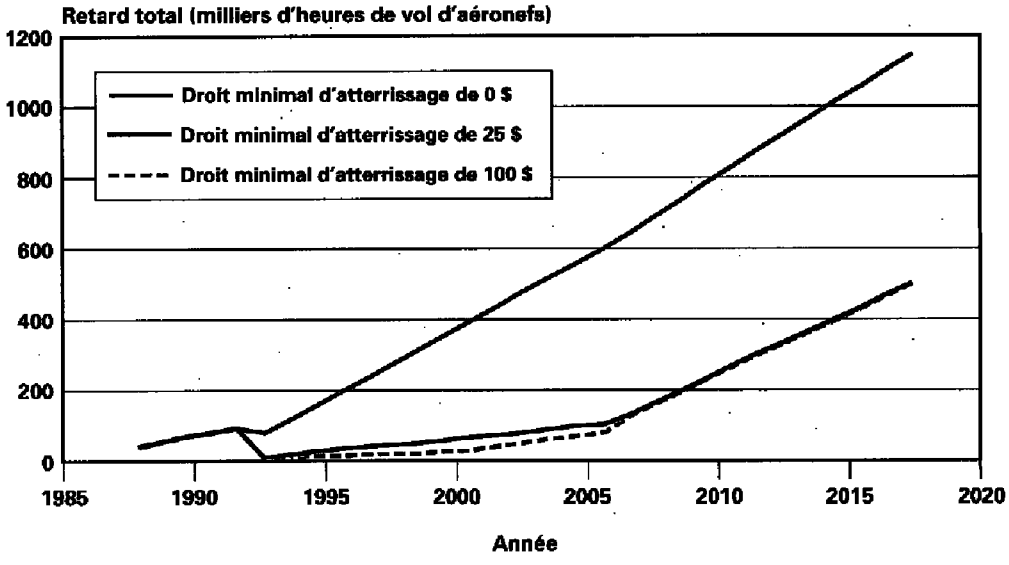
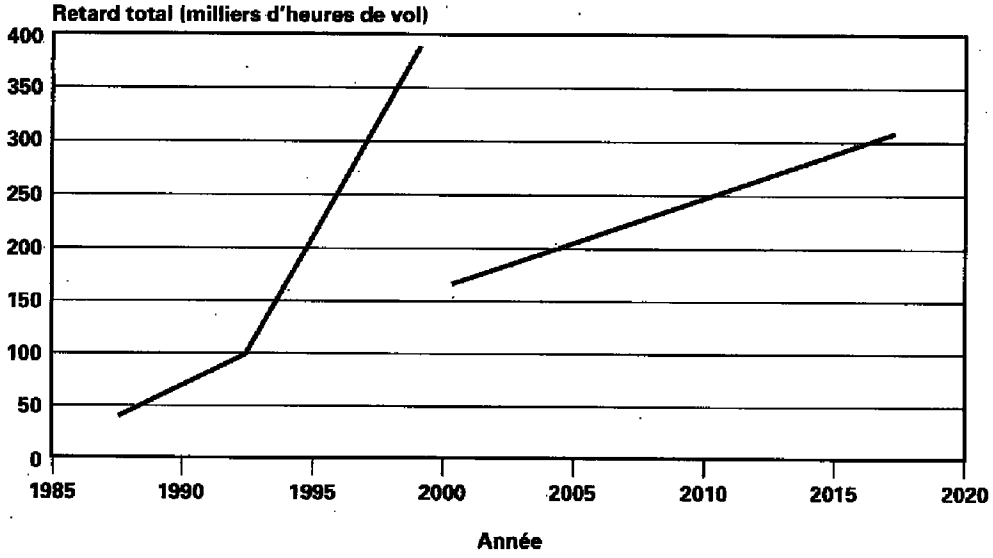


Figure 3 (suite)
STRATÉGIE 3 — MISE EN SERVICE D'UN AÉROPORT SECONDAIRE
RETARD ANNUEL TOTAL, 1988-2018



Source : Hickling Corporation, *Economic Analysis of Airfield Capacity Enhancement Strategies for Vancouver International Airport*, mars 1990, pp. 116, 118, 119.

de 25 $ et de construire une piste de 9 940 pieds, étant donné le faible niveau de congestion qui prévaudra dans les premières années. On a en outre recommandé que la redevance exigée pour les périodes de pointe soit ensuite révisée à la hausse.

Les avantages de toutes les options avaient une incidence beaucoup plus marquée sur les VAN leur correspondant, et donc sur leurs classements relatifs, que n'en avaient leurs coûts. Pour chaque option, sauf celle de l'ouverture d'un aéroport secondaire, les avantages totaux excédaient très nettement les coûts totaux. Cela ne revient pas à dire que les coûts ne sont pas importants. En fait, pour une piste parallèle, il en coûte environ 110 millions de dollars, dont 43,4 millions (39 pour cent) sont attribuables à l'augmentation du bruit ambiant. S'agissant de ce dernier type de coûts, la répartition s'établit comme suit : 37 pour cent au titre de la dépréciation des propriétés, 30 pour cent au titre de la gêne occasionnée par le bruit, 16 pour cent pour la perte de plus-value estimée, 8 pour cent au titre des

coûts de déménagement et 8 pour cent au titre des coûts d'isolation acoustique. Malgré la part importante des coûts relatifs au bruit, en regard des coûts totaux, et de l'importance de ces derniers, les coûts totaux sont faibles par rapport aux avantages totaux. Ainsi, pour ce qui est de l'option recommandée, les avantages totaux (4,3 milliards de dollars) étaient 39 fois supérieurs aux coûts totaux (0,11 milliard de dollars)[28]. Ce n'est que dans le cas de l'option prévoyant la mise en service d'un aéroport secondaire que les coûts se rapprochaient des avantages, voire les dépassaient, et uniquement à cause des coûts très élevés de construction et de fonctionnement d'un réseau de transport de surface estimés à 2,7 milliards de (dollars de 1988).

La figure 3 présente les prévisions concernant le retard annuel total. Malgré le mariage des deux options (construction d'une piste de 9 940 pieds et application d'une taxe minimale à l'atterrissage de 25 $ en période de pointe), on prévoit qu'en 2010 les retards seront revenus à leur niveau de 1988. Forts de ce constat, les chercheurs ont recommandé de mettre en réserve la possibilité d'un aménagement futur d'aéroports secondaires dans la région de la côte sud de la Colombie-Britannique continentale.

Les constats de l'étude soulèvent certaines interrogations à cause des paramètres employés dans toutes les prévisions. Comme nous l'avons vu plus haut, la principale interrogation tient à la réaction prévue des usagers à une accumulation des retards, en l'absence de piste parallèle. On a établi les avantages de la construction d'une piste parallèle en regard des retards prévus, qui passeraient à 127 minutes par avion d'ici l'an 2018. Si l'on observait un ralentissement du rythme de croissance du trafic, et donc de celui de l'augmentation des retards, avant que ces derniers n'en arrivent au niveau susmentionné (que ce soit parce que les passagers les trouveront intolérables ou parce que la direction de l'aéroport aura imposé une limite administrative), alors les avantages de la construction d'une piste parallèle deviendraient inférieurs à ceux à partir desquels on a tiré tous les constats de l'étude. Cependant, l'analyse de sensibilité a révélé que le classement des options demeurerait le même dans tous les cas, la construction d'une piste parallèle de 9 940 pieds continuant de présenter une VAN positive (238 millions de dollars), même dans le cas extrême où le trafic cesserait de croître une fois que les retards auraient dépassé 20 minutes.

Les chercheurs ont également tenu compte de l'incertitude liée aux hypothèses sous-jacentes en appliquant une répartition des probabilités subjective à chacune de ces hypothèses, puis en ayant recours aux techniques de simulation Monte Carlo afin de dériver une répartition de probabilité pour la VAN de chaque option. La simulation Monte Carlo permet la variation de toutes les hypothèses sous-jacentes, par rapport à leur valeur attendue, de façon aléatoire et en simultanéité, de sorte qu'il est possible de cibler l'effet des fluctuations réelles de la VAN. C'est ainsi que l'on est parvenu à un intervalle de confiance de 80 pour cent pour la VAN de chaque option, sur la base des intervalles de confiance de 80 pour cent que les groupes d'experts avaient affectés à chaque hypothèse sous-jacente. À propos de l'option recommandée, l'analyse des risques a conclu que même s'il y avait un risque que la valeur actuelle tombe en dessous de la valeur prévue de 3,9 milliards de dollars, il n'y avait virtuellement aucun danger que celle-ci passe en dessous de la barre des 2,6 milliards de dollars; une valeur nette actuelle négative ou nulle est associée à une probabilité de zéro[29].

Le rapport d'avantage de la première année (RAPA) établi dans le cadre de l'étude d'YVR pour une piste de 9 940 pieds, est de 195 pour cent, soit nettement plus que le taux d'actualisation de 10 pour cent, ce qui indique que la mise en service d'une nouvelle piste est économiquement justifiée depuis très longtemps. Un RAPA supérieur à 100 pour cent indique que la nouvelle piste, dans sa première année d'utilisation, donne lieu à des avantages nets supérieurs aux coûts d'immobilisations qu'elle aura entrainés; c'est d'ailleurs ce que confirme la période de récupération de 0,44 ans, dont il est fait mention dans l'étude. Même s'il n'en est pas fait mention dans cette étude, le RAPA pour l'option recommandée — autrement dit la construction d'une piste de 9 940 pieds plus l'imposition d'une redevance minimale d'atterrissage de 25 $ en période de pointe — serait légèrement supérieur à 195 pour cent, car l'application de la redevance donne lieu à de légers avantages supplémentaires, découlant d'une réduction de la congestion, dans la première année suivant la mise en service de la piste[30].

À partir du RAPA, il est possible de calculer le coût annuel de tout retard survenant dans le début des travaux d'accroissement de la capacité des pistes à YVR. Par définition, le produit du RAPA (1,95) et de la valeur actuelle des coûts d'immobilisations d'une piste parallèle (48 millions de dollars) donne la valeur actuelle de l'avantage net attribuable à la piste pendant sa première année d'exploitation (93,6 millions de dollars). Les coûts associés

à tout retard, exprimés en fonction des coûts du report de la mise en service d'une année, correspondent à la perte actualisée d'économies sur le plan des retards au décollage, pour cette même année (93,6 millions de dollars), diminuée des coûts d'opportunité en capital d'expansion qu'on aura épargnés par le report de la mise en service de la piste (0,1 x 48 millions de dollars). Le coût découlant du retard de la construction de la piste d'YVR se chiffre donc à environ 88 millions de dollars par an.

Il faut également analyser la question du moment optimal pour la construction de la piste en rapport avec la tarification en période de pointe. Pour ce faire, il faut commencer par calculer un RAPA à partir de l'avantage de la première année, une fois la tarification en place. Cet avantage «supplémentaire», survenant dans la première année qui suit la mise en service de la piste, correspond à l'avantage de première année dû à la combinaison «piste plus tarification» diminué de l'avantage de première année dû à la tarification seule. Dans l'étude YVR, il est fait état d'un RAPA de 82 pour cent pour la construction d'une piste de 9 940 pieds, si la redevance minimale à l'atterrissage est de 100 $ dans le scénario de référence[31]. Comme ce RAPA de 82 pour cent dépasse de loin le taux d'actualisation de 10 pour cent, la construction de la piste à YVR aurait dû prendre place bien avant, même si l'on avait déjà appliqué une redevance à l'atterrissage minimale de 100 $ en période de pointe[32]. D'où la conclusion de l'étude que malgré l'application d'une tarification en période de pointe, les coûts entraînés par le retard dû à la congestion pourraient être assez élevés en 1993 (année hypothétique retenue pour la mise en service de la piste) pour contrebalancer les économies d'intérêts sur le financement par suite d'un report des travaux de construction d'une année. La construction d'une autre piste à YVR aurait dû prendre place il y a bien longtemps, non seulement à cause de l'absence de toute tarification en période de pointe, mais aussi à cause d'un manque de capacité physique.

3.3 AÉROPORT INTERNATIONAL DE LESTER B. PEARSON[33]

Portée

Tout comme dans le cas du projet d'accroissement de la capacité des pistes à l'aéroport international de Vancouver, ce sont d'importants retards dus à la congestion qui ont amené les planificateurs à envisager l'ajout d'une piste à Pearson. Entre 1984 et 1988, Pearson a enregistré une augmentation

de 33 pour cent du volume de passagers et de 40 pour cent des mouvements d'avions quotidiens. Cette rapide croissance du trafic tient, d'une part, à l'activité économique intense qui a régné dans le sud de l'Ontario et, d'autre part, à l'émergence de Pearson en tant que principal aéroport central au Canada, pour les vols intérieurs, transfrontaliers et internationaux.

Or, cette croissance du trafic a très nettement entamé la capacité d'accueil de l'aéroport et a donné lieu à une augmentation des retards dès 1987. Face à cette situation, le ministre des Transports a mis en place un système de réservation des créneaux de vol et imposé une limite de 70 mouvements à l'heure. Cependant, grâce à une augmentation des effectifs de contrôleurs, il a été possible de repousser cette limite à 76 mouvements à l'heure, en 1990.

Entre-temps, on a commencé à envisager l'adoption de certaines mesures en vue d'accroître l'efficacité des installations existantes. Il a notamment été question d'améliorer l'infrastructure et les opérations afin de maximiser la capacité des pistes. On s'attendait à ce que ces changements permettent de porter la capacité horaire du réseau de pistes à 96 mouvements à l'heure. L'application d'une tarification aux heures de pointe, afin de déplacer les mouvements vers les heures creuses, s'est avérée peu efficace à cause d'une demande relativement non élastique, pour la plupart des usagers de l'aéroport. Malgré leur incidence potentielle limitée sur les retards, on a toutefois adopté des redevances minimales à l'atterrissage.

Suite à de telles améliorations, la demande aurait dû passer à 96 mouvements à l'heure dans les cinq années suivantes, après quoi de graves problèmes de congestion se seraient de nouveau posés ou il aurait pu être nécessaire d'imposer d'autres limites à l'utilisation de l'aéroport. Ce constat a amené les chercheurs à conclure à la nécessité d'une autre piste à Pearson.

Le scénario de référence, établi pour l'étude coûts-avantages des options d'accroissement de capacité à Pearson, englobait toutes les mesures nécessaires pour optimiser la capacité des pistes actuelles, autrement dit : la construction de voies de circulation, ou de bretelles d'accès; l'adoption de nouvelles techniques et procédures de navigation aérienne; et la dotation du système de contrôle de la circulation aérienne à effectif complet. La tarification pour utilisation en période de pointe n'a pas été incluse dans

le scénario de référence, mais l'on a supposé que la limite imposée au nombre de mouvements aériens pourrait demeurer en place, parallèlement à un système d'affectation administrative, de sorte à provoquer un déplacement du trafic aux heures de pointe vers les périodes intermédiaires et les périodes creuses.

À l'heure actuelle, le réseau de pistes de Pearson est configuré de la façon suivante : deux pistes parallèles orientées est-ouest (06-24), et une piste orientée nord-sud (15-33). Les pistes parallèles 06-24 accueillent la majorité du trafic, mais dans 5 pour cent du temps, à cause des conditions de vent, il n'est pas possible d'utiliser les pistes 06-24, de sorte que la capacité d'accueil de l'aéroport est limitée à une seule piste, la 15-33. L'étude coûts-avantages de l'accroissement de capacité a consisté à étudier neuf options. Trois prévoyaient la construction d'une seule piste additionnelle, orientée 06-24, deux options prévoyaient la construction de deux pistes supplémentaires 06-24, trois options l'addition d'une seule piste 15-33 et une dernière prévoyait la construction de deux pistes supplémentaires 06-24 et d'une autre piste 15-33. L'aménagement d'aéroports secondaires n'a pas été envisagé, car les cinq autres aéroports de la région de Toronto font tous face à des contraintes physiques (au sol ou dans l'espace aérien) ou institutionnelles telles, que leur expansion est irréalisable.

Le genre d'avantages que présenterait la construction d'une piste 06-24 pour les usagers, tels qu'analysés dans l'étude de Pearson, sont les mêmes que ceux constatés dans le cadre de l'étude de Vancouver, puisqu'ils englobent notamment des économies découlant de la réduction des coûts dus aux retards pour le volume du trafic, dans le scénario de référence, et des gains de surplus des consommateurs découlant du trafic généré par les nouvelles pistes, en plus du trafic prévu dans le scénario de référence. Par contre, le genre d'avantages auxquels la construction d'une piste 15-33 donnait lieu pour les usagers étaient nettement plus nombreux. En effet, une nouvelle piste 15-33 permettrait non seulement d'alléger les retards découlant d'une croissance du trafic, mais aussi de réduire le nombre de déroutements des vols et d'annulations qui sont actuellement nécessaires quand les conditions de vent empêchent l'utilisation des pistes 06-24. C'est la réduction de ces coûts de perturbation qui ont incité les chercheurs à envisager la construction d'une nouvelle piste 15-33. Les avantages macro-économiques n'ont pas été inclus dans l'étude coûts-avantages, mais ils font l'objet d'une étude distincte[34].

Approche

Afin d'évaluer les avantages que présente l'accroissement de la capacité piste — tant pour ce qui est des économies que les usagers du scénario de référence peuvent réaliser grâce à une diminution des retards que pour les gains de surplus des consommateurs appliqués aux usagers induits — il faut estimer la réduction du temps de retard moyen ainsi que l'augmentation du volume de trafic attribuable au nouveau réseau de pistes. Par ailleurs, pour effectuer ces estimations, il faut comencer par prévoir le trafic en fonction du scénario de référence et des conditions d'expansion de pistes, et convertir ces prévisions en retards moyens en fonction de la capacité du scénario de référence et de la nouvelle capacité, une fois les travaux d'agrandissement terminés.

Comme nous l'avons vu dans notre analyse de l'étude coûts-avantages de Vancouver, l'une des difficultés de tout cet exercice de prévision du trafic tient à l'établissement d'un modèle de l'effet du retard dû à la congestion sur la croissance du trafic. Dans l'étude de Vancouver, ce problème a été abordé suivant deux approches. Les prévisions concernant les mouvements, en fonction du trafic du scénario de référence, ont été ajustées à la baisse afin de tenir compte du fait que les compagnies aériennes exploiteraient des avions plus gros, présentant des coefficients de remplissage supérieurs, de sorte à compenser les retards plus importants. Et pourtant, malgré cet ajustement, on a prévu que le retard moyen finirait par atteindre des niveaux élevés en l'absence de nouvelles pistes, pour passer à 128 minutes d'ici l'an 2018. Afin de tenir compte de la possibilité d'un très net ralentissement de la croissance du trafic occasionné par les retards, avant même que ceux-ci n'atteignent de tels niveaux, les chercheurs ont entrepris une analyse de sensibilité destinée à évaluer la limitation de croissance du trafic pour des retards moyens avoisinant 20 minutes. Ces tentatives de modélisation des effets du retard sur la croissance du trafic ont fait ressortir une diminution des économies pouvant découler d'une réduction des retards (économies attribuables à la construction de la piste), mais aussi une augmentation des avantages pour les usagers induits, en raison de l'écart entre les prévisions de trafic du scénario de référence et les prévisions de trafic suite à un accroissement de la capacité d'accueil des pistes.

Dans l'étude coûts-avantages de Pearson, on a retenu une démarche beaucoup plus stricte pour modéliser les effets du retard sur la croissance du trafic. En effet, on a supposé que si la piste n'était pas construite, l'autorité

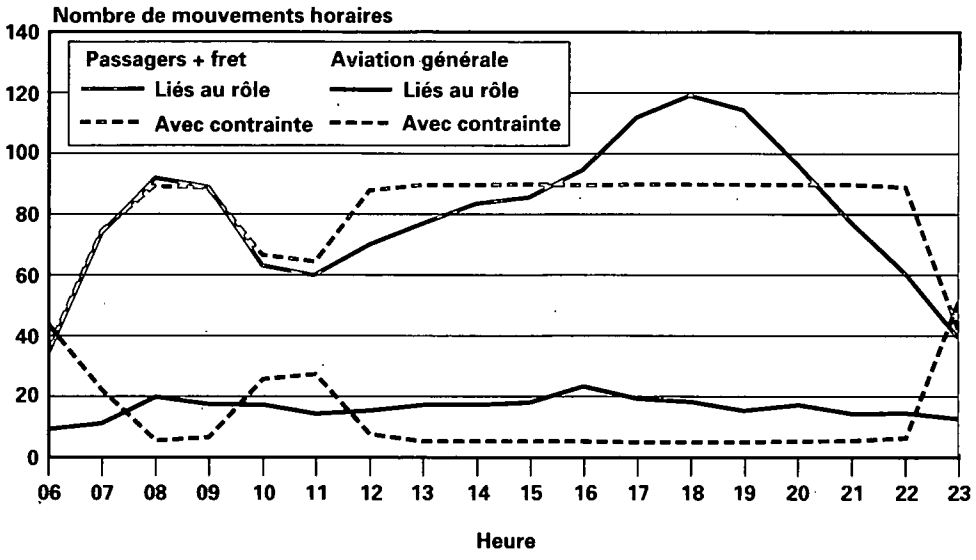
aéroportuaire pourrait prendre des mesures en vue de limiter le débit horaire avant que ces retards n'atteignent des niveaux aussi élevés. Les chercheurs ont supposé que, d'une part, le trafic du scénario de référence serait limité à 96 mouvements à l'heure et que, d'autre part, un système d'affectation administrative serait mis en place pour déporter la demande de trafic des heures de pointe aux heures creuses ou aux périodes intermédiaires. Ces hypothèses ont été reprises dans deux prévisions de trafic : une liée au rôle et appliquée aux options d'accroissement de la capacité piste, et une autre, dite «en situation de contrainte», appliquée au scénario de référence. La première (trafic lié au rôle) a été fondée sur les prévisions de demande de transport aérien sans les contraintes dues au retard. La prévision en situation de contrainte, quant à elle, a consisté à répartir le trafic lié au rôle, selon les heures de pointe et les heures creuses (ou les heures intermédiaires), d'après un principe voulant que le trafic horaire ne devrait jamais dépasser 96 mouvements. Ce faisant, tous les mouvements de fret et de passagers ont été pris en compte dans la prévision en situation de contrainte. Par contre, certains mouvements de l'aviation générale (AG) représentant le trafic généré par l'accroissement de la capacité piste, n'ont pas été inclus dans cette prévision.

Les deux prévisions de trafic ont été articulées selon des horaires de vols quotidiens prévus pour les années 1996, 2001 et 2011, et représentant le nombre moyen de mouvements horaires dans les sept journées les plus occupées des trois mois les plus occupés de chaque année. La figure 4 présente la prévision d'horaires quotidiens pour l'an 2011 et montre comment on a dérivé les horaires de trafic en situation de contrainte, c'est-à-dire par le transfert du trafic des heures de pointe aux heures creuses ou aux heures intermédiaires.

L'étude Pearson arrive à une évaluation plus prudente des avantages découlant de l'accroissement de la capacité piste que celle de Vancouver. Dans le scénario de référence de l'étude de Pearson, on a limité le retard moyen à ce qui se produit lorsque les pistes existantes sont exploitées à leur capacité horaire maximale (96 mouvements à l'heure). Cela contraste donc avec l'approche retenue dans l'étude de Vancouver où l'on a permis à la demande horaire d'augmenter au-delà de la capacité horaire maximale jusqu'à ce que le retard moyen en arrive à un niveau maximum tolérable. Résultat : par rapport à l'approche du «retard maximum tolérable» de l'étude de Vancouver, l'approche d'affectation administrative retenue dans

Figure 4

HORAIRES QUOTIDIENS PRÉVUS POUR 2011



Source : Transports Canada, *Toronto Lester B. Pearson International Airport Airside Development Project, Final Report N° 24, Benefit Cost Analysis*, TP10854E, avril 1991, p. 43.

l'étude de Pearson a donné lieu à des retards moindres dans le cas du scénario de référence et, par voie de conséquence, à des économies moins importantes réalisées grâce à la diminution des retards après l'accroissement de la capacité des pistes. Cette hypothèse de l'affectation administrative s'est également traduite par des avantages pour les usagers induits, inférieurs à ce que donne l'hypothèse du «retard maximum tolérable» puisque, comme elle fait glisser une partie du trafic des périodes de pointe aux périodes creuses, elle prend en compte la majorité des mouvements liés au rôle[35].

Dès lors, comme on a supposé, dans le cas de l'étude de Pearson, que les autorités interviendraient plus activement pour limiter les retards en l'absence d'un réseau de pistes additionnel, on s'est trouvé à adopter une approche plus prudente que celle retenue dans l'étude de Vancouver pour évaluer les avantages découlant de l'accroissement de la capacité des pistes. On pourrait aussi soutenir que, dans l'étude de Vancouver, on avait également envisagé le tranfert d'une partie des usagers des périodes de pointe aux périodes creuses, grâce à l'imposition d'une redevance minimum d'atterrissage aux heures de pointe. Toutefois, comparativement à l'affectation administrative

prévue dans l'étude de Pearson pour combattre la congestion, ce type de droits s'est avérée moins efficace[36].

Même si les hypothèses qui sous-tendent les prévisions de trafic de chaque scénario de référence sont différentes, les études de Vancouver et de Pearson font appel à la même méthode pour convertir en «durées moyennes de retards» les prévisions de trafic du scénario de référence et celles de l'option d'accroissement de capacité. Tout comme dans l'étude de Vancouver, l'étude de Pearson s'appuie sur un modèle de simulation discrète des mouvements sur les pistes pour prévoir les temps de retard moyens qui pourraient intervenir en fonction des prévisions de trafic et des conditions de capacité envisagées dans le scénario de référence et dans les options d'accroissement de la capacité d'accueil des pistes. Les horaires quotidiens en situation de contrainte ont été simulés en fonction de la capacité du scénario de référence; quant aux horaires quotidiens liés au rôle, ils ont été simulés en fonction de chaque option d'acccroissement de capacité. Le retard moyen dans les mouvements aériens a été converti en retards moyens par passager à partir d'hypothèses de distribution des types d'appareils et des coefficients de remplissage. On a alors évalué les retards pour chaque vol en intégrant les coûts d'exploitation des avions et les retards par passagers après avoir attribué une valeur au temps de ces derniers. (La valeur du temps-passagers correspond à la moyenne pondérée de la valeur du temps de loisirs et du temps de travail.) Comme dans le cas de l'étude de Vancouver, le taux horaire moyen des voyageurs d'affaires a servi de base à l'approximation de la valeur commerciale d'une heure de travail, et on a estimé que le temps de loisirs correspondait à 40 pour cent de la valeur du temps de travail. Cela fait, on a obtenu une valeur moyenne du temps-passagers de 26,33 $ par heure-passager, en dollars de 1990.

Les coûts des retards moyens obtenus de cette façon représentaient les coûts des retards quotidiens en regard des horaires prévus pour 1996, 2001 et 2011. Afin de parvenir à une évaluation des coûts de retards annuels, on a d'abord cherché à calculer les coûts de retards moyens à partir des coûts de retards quotidiens grâce à une équation fondée sur la théorie des files d'attente, équation qui établit les relations exponentielles entre les mouvements aériens (dans ce cas, les mouvements quotidiens) et le coût moyen des retards. La fonction obtenue a ensuite été appliquée à la répartition des fréquences pour les mouvements quotidiens de l'année de référence et de l'année de prévision, afin de dériver une estimation du coûts des retards

annuels pour le scénario de référence et pour chaque option d'accroissement de capacité de piste.

On a conclu que les avantages dérivés de la construction d'une piste 15-33 (nord-sud) étaient supérieurs aux économies qu'on pourrait réaliser par la diminution des retards et par les gains de surplus des consommateurs estimés pour les options prévoyant la construction d'une ou de deux pistes 06-24 (est-ouest). Ce résultat est conforme au rôle d'une piste 15-33 dans l'atténuation des coûts de perturbation qui surviennent quand les conditions de vent empêchent l'utilisation des pistes 06-24. En effet, si ces dernières ne sont pas utilisées, la capacité est actuellement limitée à une seule piste 15-33, ce qui donne lieu à des problèmes de congestion soudains et très graves. Selon l'heure où surviennent ces perturbations d'origine météorologique, et selon leur durée, un grand nombre de vols peuvent être retardés au sol, en vol à l'approche sur Pearson, ou encore au sol à d'autres aéroports. Enfin, certains vols peuvent être détournés voire carrément annulés.

L'estimation des avantages d'une seconde piste 15-33 a consisté à simuler les effets d'un «incident météorologique» représentatif sur les horaires quotidiens prévus. Pour la simulation des coûts de perturbation correspondant à cet incident représentatif, on a imaginé les situations avec et sans piste supplémentaire 15-33 et avec et sans piste supplémentaire 06-24. L'existence d'une capacité supplémentaire sous la forme d'une autre piste 06-24 infléchit les coûts de perturbation en agissant à la fois sur l'ampleur du trafic prévu et sur l'importance des files d'attente constatées en période de perturbation. Les coûts de perturbation pour chaque scénario ont alors été convertis en coûts de perturbation annuels selon les données historiques du nombre d'heures d'utilisation de la piste 15-33, dans une année, pour des raisons météorologiques.

Pour la simulation de la perturbation, on a retenu la règle de rationnement de la capacité actuellement en vigueur, règle selon laquelle on accorde la priorité aux plus gros-porteurs et aux vols de longue durée; les vols de l'aviation générale sont annulés ou détournés vers d'autres aéroports. Les coûts des annulations, des détournements, des survols et des retards ont été calculés sur la base d'un modèle élaboré par Transports Canada pour l'évaluation des aides d'approche[37]. Le coût des retards a alors été estimé sur la base d'une file d'attente de longueur moyenne, selon l'hypothèse voulant que tous les retards au départ surviennent au sol, qu'un tiers des

retards à l'arrivée surviennent en vol et que les autres se produisent au sol à d'autres aéroports. Les coûts d'annulation pour les passagers englobaient le temps de retard, les coûts de traitement supplémentaires et les avantages perdus pour les passagers ne poursuivant par leur voyage, coûts que l'on a estimés, de façon prudente, comme correspondant au prix des billets. Dans le cas des avions, le coût de l'annulation correspond au coût de mise en place. Les coûts de diversion se traduisent pas des coûts supplementaires de temps de vol et de transport au sol découlant du détournement des avions non commerciaux (avions à moteur à pistons inclus) vers les aéroports voisins. Les coûts de survol correspondent aux coûts d'annulation des passagers à destination de Pearson qui n'empruntent pas les avions devant survoler Pearson pour se rendre à leur destination.

Comme dans le cas de l'étude de Vancouver, la dépréciation des valeurs foncières a servi de base à l'évaluation des coûts dus à une augmentation du bruit ambiant. On a établi une relation empirique entre le bruit et les valeurs foncières en faisant appel à des techniques de régressions hédoniques qui ont occasionné une régression du prix de vente des maisons pour toute la gamme des caractéristiques de logements envisagées, et en estimant l'exposition au bruit, le FEB, pour un échantillon constitué de plus de 3 000 ménages situés dans un rayon de huit milles autour de Pearson. Les prix du marché pour les logements de l'échantillon, par région de recensement, ont été dérivés à partir des données de la banque de recensement et des données MLS, ainsi que des taux naturels d'émigration. On a estimé que la relation entre l'augmentation du niveau de bruit ambiant et l'augmentation du nombre de déménagements vers l'extérieur de la région correspondait à une fonction dose-réponse entre les répondants s'étant déclarés «très gênés» par le bruit et les niveaux de FEB.

Étant donné ces relations entre les niveaux de bruit, les valeurs des propriétés ainsi que la migration naturelle et la migration due au bruit, les chercheurs ont calculé les coûts de dépréciation des propriétés, les coûts de déménagement, les coûts de perte de la plus-value estimée par les propriétaires et les coûts d'augmentation de la gêne due au bruit. La dépréciation de la valeur des propriétés intervient pour tous ceux et celles qui déménagent, que ce soit à cause d'une augmentation du niveau de bruit ou pour d'autres raisons. Or, les coûts de déménagement n'ont été retenus que dans le cas des personnes déménageant à cause du bruit. Ces dernières subissent également une perte de la plus-value estimée, découlant de leur

attachement à la collectivité ou à leur domicile. On a estimé cette perte en établissant la différence entre la valeur subjective d'un logement et sa valeur commerciale, obtenue par comparaison des évaluations mentionnées dans les données de recensement et dans les données MLS. Les coûts de la gêne due à une augmentation du bruit s'appliquent aux résidents demeurant dans la région et l'on a estimé qu'ils équivalaient à la dépréciation imputée à la valeur des propriétés. On a également supposé que les nouveaux résidents déménageant dans la région ne seraient pas affectés par le bruit, puisque les coûts qui y sont associés seraient déjà intégrés dans la dépréciation du prix de leur propriété récemment acquise. Donc, on a estimé que les coûts de la gêne due au bruit diminuaient avec le temps.

Les coûts environnementaux, autres que ceux associés au bruit, comme la perte des habitats terrestres et aquatiques, n'ont pas été quantifiés, mais ont été pris en compte dans le choix entre les différentes options de construction de pistes 15-33 présentant des VAN marginalement différentes, comme nous allons le voir.

Constats

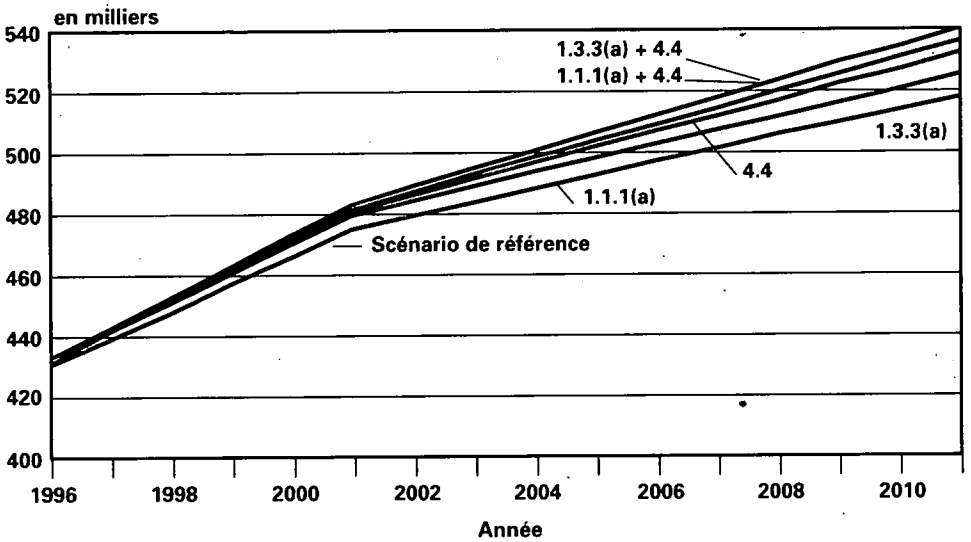
La figure 5 présente le trafic prévu et les délais moyens simulés correspondants, pour le scénario de référence et pour les options d'accroissement de capacité des pistes 06-24. Dans le scénario de référence, on a inclus la quasi-totalité du trafic pouvant être absorbé à la suite des travaux d'agrandissement, de sorte que les avantages pour les usagers induits (découlant de la construction d'une piste 06-24), sont minimes. Cependant, les économies réalisées sur le plan des retards, suite à la construction d'une telle piste, sont importantes; le projet d'augmentation de capacité pourrait permettre de réduire le coût des retards moyens, par rapport à ce qui est prévu dans le scénario de référence, dès la première année d'exploitation. Une piste supplémentaire pourrait donner lieu à une diminution des retards moyens de plus de la moitié; la construction de deux pistes supplémentaires amènerait les retards moyens à près de zéro, pour toute la période étudiée.

La figure 6 compare les avantages de la valeur actuelle des options d'accroissement de capacité des pistes 06-24 aux avantages de la valeur correspondante des coûts actualisés d'immobilisations et de fonctionnement. Les coûts dus au bruit, évalués à une autre étape de l'analyse, ne

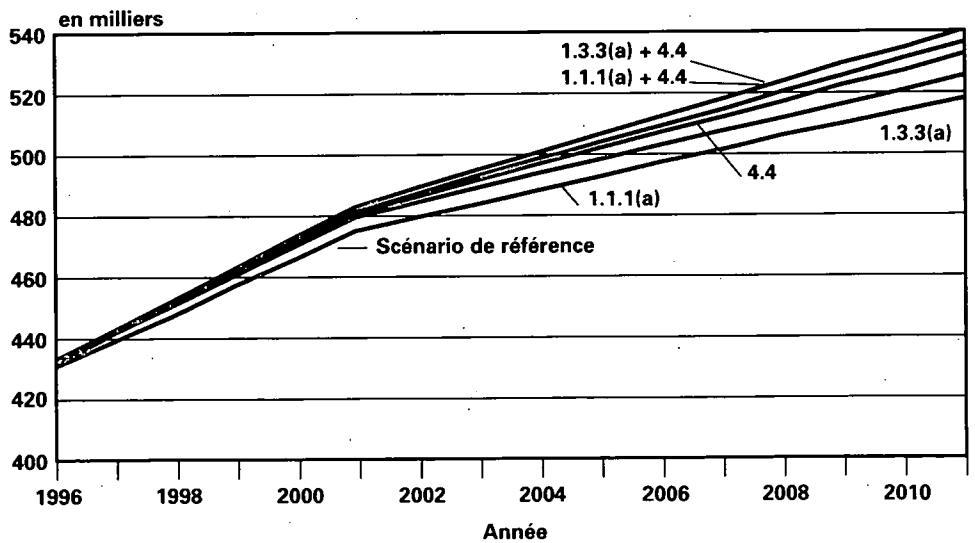
Figure 5

INCIDENCES DES OPTIONS DE CONSTRUCTION DE PISTES SUR LES RETARDS ET LE TRAFIC

A) NOMBRE DE MOUVEMENTS ANNUELS



B) COÛT MOYEN DES RETARDS PAR MOUVEMENT



Source : Transports Canada, *Toronto Lester B. Pearson International Airside Development Project, Final Report, Final Report N° 24 Benefit/Cost Analysis,* TP10854E, avril 1991, p. 65.

Figure 6

ANALYSE AVANTAGES-COÛTS : SOMMAIRE DES RÉSULTATS

(VALEUR ACTUALISÉE EN MILLIONS $ DE 1990)

a) Options de construction de pistes 06-24

	Options				
	4.4	1.1.1(a)	1.3.3(a)	1.1.1(a) +4.4	1.3.3(a) +4.4
Avantages					
Pour les usagers actuels	854,8	712,1	937,6	1 329,2	1 244,3
Pour les nouveaux usagers	6,8	3,6	8,8	15,1	15,0
Total	**861,6**	**715,7**	**946,4**	**1 344,3**	**1 259,3**
Coûts					
En immobilisations	181,0	146,4	206,5	326,7	386,3
E et E	14,2	12,6	11,2	26,8	23,8
Total	**195,2**	**159,0**	**217,7**	**353,5**	**410,1**
Advantages nets (advantages moins coûts)	666,2	556,7	728,7	990,6	849,1
Ratio avantages-coûts	4,41	4,50	4,35	3,80	3,07
Taux de rendement interne (%)	33,6	32,5	30,7	29,8	24,6

b) Options de construction de pistes 15-33

	Options					
	2.1.4		3.1.2		3.2.1	
	06-24 existantes	06-24 nouvelles	06-24 existantes	06-24 nouvelles	06-24 existantes	06-24 nouvelles
Avantages Pertubation réduite	159,5	163,7	279,4	274,1	395,4	410,3
Coûts						
En immobilisations	149,0	149,0	157,2	156,8	257,6	257,6
E et E	13,1	13,1	11,7	11,7	19,4	19,4
Total	**162,1**	**162,1**	**168,9**	**168,5**	**277,0**	**277,0**
Avantages nets (Advantages moins coûts)	(2,6)	1,6	110,6	105,6	118,4	133,3
Ratio avantages-coûts	0,98	1,01	1,66	1,63	1,43	1,48
Taux de rendement interne %	9,8	10,1	16,4	16,1	14,6	15,3

Source : Transports Canada, *Toronto Lester B. Pearson International Airside Development Project, Final Report N° 24, Benefit/Cost Analysis,* TP10854E, avril 1991, pp. 69, 103.

modifient pas les résultats (voir ci-après). D'après cette figure même si le coût des travaux de construction d'une ou de deux pistes supplémentaires 06-24 sont élevés (près de 200 millions de dollars par piste), les avantages qu'on en retirerait sous la forme d'une diminution des retards le sont encore plus, toutes les options d'accroissement de la capacité d'accueil donnant lieu à des VAN nettement positives. L'option recommandée est celle de la construction de deux pistes 06-24 supplémentaires, au coût actualisé de 354 millions de dollars, qui permettraient de dégager des avantages de 1,3 milliard de dollars pour une VAN de 990 millions de dollars.

Ce constat est conforme à celui de l'étude de Vancouver, où l'option recommandée avait donné lieu à des avantages d'usagers de 4 milliards de dollars. Le fait qu'en doublant ou presque la capacité de la piste principale à Vancouver on obtienne des avantages estimés pour les usagers produits qui sont trois fois supérieurs à ceux retirés d'un doublement de la capacité des pistes à Pearson peut être en fait dû aux techniques d'estimation prudentes des avantages employées dans l'étude de cas de Pearson.

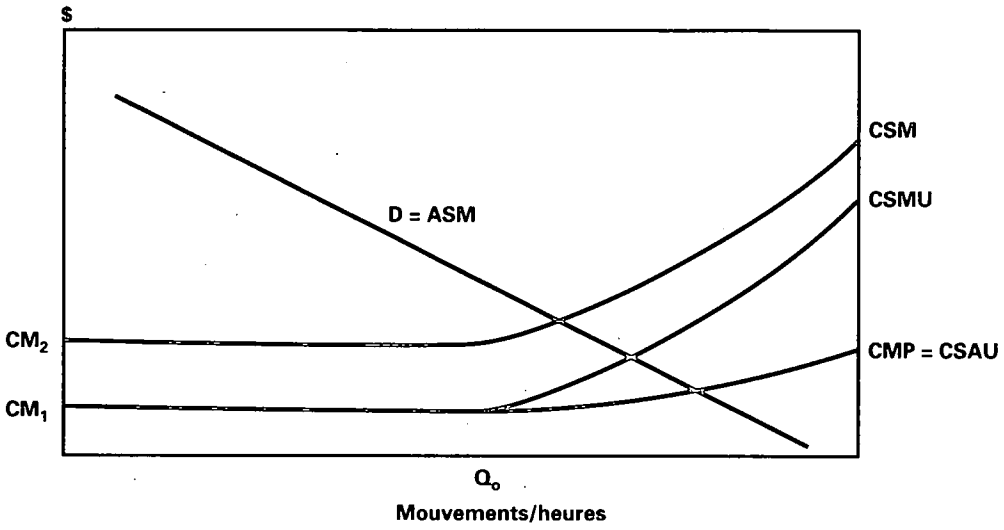
Non seulement, les avantages estimés de l'accroissement du réseau de pistes sont supérieurs à Vancouver, mais les coûts d'immobilisations sont inférieurs, ce qui donne lieu à des ratios avantages-coûts nettement plus élevés dans le cas de l'option recommandée pour Vancouver (17,4) que pour Pearson (3,8),et à des taux de rendement internes nettement plus importants (76 pour cent contre 30 pour cent).

La figure 6 dresse également une comparaison des avantages découlant d'une diminution de la perturbation, pour les options de construction de pistes 15-33, en regard des coûts d'immobilisations et d'exploitation. Les avantages que présente une piste supplémentaire 15-33 ne sont apparemment pas affectés par la présence ou l'absence de pistes supplémentaires 06-24. Peu importe que l'on s'en tienne au réseau actuel de pistes 06-24, ou qu'on en construise de nouvelles, les options de construction de deux pistes 15-33 plus longues donnent lieu à des VAN positives importantes.

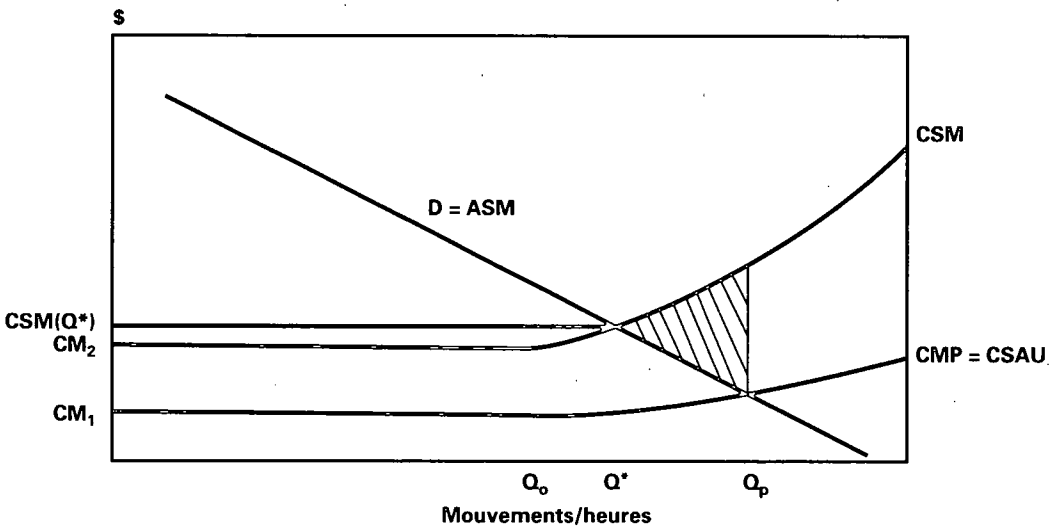
Bien que ces VAN ne soient pas aussi élevées que celles obtenues dans le cas des options de pistes 06-24, elles n'en justifient pas moins la construction d'une piste 15-33. L'option 15-33, présentant la VAN la plus élevée, autrement dit l'option 3.2.1, n'a cependant pas été recommandée en raison des facteurs environnementaux que l'on n'avait pas quantifiés. En effet, comme elle exigerait

Figure 7

AVANTAGES ET COUTS MARGINAUX SOCIAUX LIÉS À L'UTILISATION DE L'INSTALLATION



OPTIMUM SOCIAL ET PRIVÉ D'UTILISATION



le comblement du ravin Etobicoke/Spring Creek, l'option 3.2.1 se traduirait par des coûts beaucoup plus élevés, sur le plan des habitats terrestres et aquatiques, que l'option 3.1.2. En outre, l'option 3.2.1 reviendrait à exposer de nouveaux secteurs au bruit, contrairement à l'option 3.1.2. Pour toutes ces raisons, c'est l'option présentant la VAN qui vient en deuxième position, autrement dit l'option 3.1.2, qui a été recommandée. Le choix de cette

dernière, de préférence à l'option 3.1.2, donne lieu à une perte de VAN et à une évaluation implicite des coûts environnementaux à environ 30 millions de dollars.

Les coûts dus au bruit ont été modélisés en fonction des options recommandées pour la construction de pistes 06-24 et 15-33. On a constaté que le coût dû au bruit, pour les ménages restant sur place, était le plus important type de coût de cette nature, puisqu'il représente 65 pour cent du coût total associé au bruit. Le coût total supplémentaire dû au bruit ne serait que de 5,1 millions de dollars dans le cas de l'addition d'une piste 06-24, et il serait négligeable pour l'addition d'une piste 15-33. L'inclusion des coûts dus au bruit dans l'analyse coûts-avantages a eu un effet négligeable sur les résultats coûts-avantages et a donné lieu à une diminution de la VAN, pour l'option recommandée 06-24, de 0,5 pour cent seulement. Les variations dans le niveau limite d'exposition au bruit indiquent que les coûts dus au bruit sont moins importants que les avantages nets dérivés de l'accroissement de la capacité d'accueil de deux ordres de grandeur, sans égard au niveau limite retenu.

Une analyse de sensibilité a été effectuée afin de tester l'incidence des changements, des hypothèses de prévision sous-jacentes formulées à propos des avantages dérivés de la construction de pistes 06-24 et 15-33, et aux coûts dus au bruit. On a constaté que les variations intervenant dans les paramètres du modèle, dans des limites raisonnables, ne modifiaient pas les résultats de l'étude. On a également constaté qu'un fléchissement raisonnable des coûts d'exploitation des avions ou de la valeur du temps-passagers n'avait aucun effet marqué sur l'attrait économique des options préférées; même si l'on ne rattachait aucune valeur au temps-passagers, les VAN des options préférées demeureraient positives. Dans le cas de l'option 06-24, on a également envisagé l'imposition d'une limite à la croissance du trafic du scénario de référence, aux niveaux de 1996, à titre de réaction extrême pour combattre les retards; même dans ce cas, on économiserait suffisamment sur le plan des coûts dus aux retards pour justifier la construction de deux pistes 06-24 supplémentaires. Dans le cas du projet de construction d'une piste 15-33, le temps total durant lequel les conditions météorologiques limitent les avions à l'utilisation de la piste 15-33 a été retenu comme variable clé. Une étude des données météorologiques a permis de constater que de telles conditions se produisent 4,7 pour cent du temps. Cependant, on s'est rendu compte qu'une piste 15-33 supplémentaire demeurait rentable même si elle ne devait servir que dans 2,9 pour cent du temps.

Tout retard d'une année dans la mise en oeuvre de l'option recommandée pour la construction d'une piste 06-24, devrait donner lieu à une diminution de sa VAN de 40 millions de dollars. Ce coût important rejoint tout à fait le coût de 45 millions de dollars d'un retard correspondant, calculé plus haut pour Vancouver, et illustre les coûts élevés que représente l'exploitation d'un aéroport congestionné. Il est possible de calculer le rapport d'avantages de la première année (RAPA) pour le projet d'agrandissement des pistes à Pearson, en divisant l'avantage net de la première année (valeur actualisée) par les coûts d'immobilisations du projet (valeur également actualisée). Dans le cas de l'option 06-24, on obtient un RAPA de 23,2 pour cent (76/327). Comme ce RAPA est supérieur au taux d'actualisation (10 pour cent), les travaux de construction de la piste 06-24 auraient dû commencer plus tôt, bien qu'ils ne soient pas aussi en retard qu'à Vancouver où le RAPA est de 82 pour cent. L'inclusion d'une affectation administrative dans le scénario de référéence, pour l'étude de Pearson, confirme que les travaux de construction de la 06-24 auraient dû débuter plus tôt, à cause d'un manque de capacité et non de la non-utilisation de la capacité existante. Le RAPA obtenu dans le cas de l'option recommandée 15-33 est de 11,2 pour cent (17,5/156,8), ce qui indique que le moment est presque optimal pour entamer la construction d'une piste 15-33.

4. La problématique de l'établissement des prix dans les aéroports

Ayant examiné les conditions qui régissent le choix d'un niveau efficient de capacité, nous pouvons à présent nous pencher sur la question de l'utilisation efficiente d'un niveau de capacité donné. La présente partie expose les solutions théoriques à ce problème de planification à court terme et propose la transformation de la solution retenue en un ensemble de critères d'une politique d'utilisation efficiente à court terme. Pour cela, nous évaluerons dans quelle mesure un certain nombre de politiques à court terme permettent de répondre à ces critères d'efficience, qui vont des affectations administratives à la détermination du prix d'après le coût social marginal. Enfin, nous examinerons les pratiques actuelles en matière de tarification dans les aéroports canadiens et évalueront les politiques de recouvrement de coûts proposées par Transports Canada, du point de vue de leur efficience économique.

4.1 PRINCIPES

Devant une capacité fixe, les planificateurs d'aéroports doivent trouver des solutions à deux problèmes : déterminer le niveau d'utilisation de cette capacité fixe, et répartir ce niveau d'utilisation entre les différents usagers. Utilisation et répartition efficientes obéissent à un compromis entre la valeur que les usagers attribuent à l'utilisation d'une installation donnée et le coût social de cette utilisation.

La figure 7 illustre le problème de planification à court terme. Le niveau d'utilisation, exprimé par le nombre de mouvements horaires, est indiqué le long de l'axe des x, pour des installations de tailles fixes différentes. La courbe de demande (D) représente la demande des exploitants relativement à l'installation considérée et elle est dérivée de la demande de transport aérien[38]. La courbe de demande traduit la valeur relative que les usagers accordent à l'utilisation de l'installation (autrement dit leur volonté de payer pour l'utiliser), dans un ordre décroissant. Elle traduit donc l'évaluation marginale des usagers, pris en groupe : pour tout niveau d'utilisation, la courbe de demande indique la valeur attribuée par l'usager marginal (celui qui accorde le moins de valeur à l'utilisation de l'installation en question) à partir de l'hypothèse voulant que l'utilisation de l'installation est répartie entre tous les usagers, selon la valeur que chacun lui reconnaît, celui qui lui accorde la plus grande utilité (l'usager «le plus intéressé») recevant la priorité d'affectation. Au fur et à mesure que l'utilisation augmente, l'évaluation de l'usager marginal diminue et, par conséquent, la courbe de demande fléchit vers le bas. Si l'on suppose que les usagers sont les seuls bénéficiaires de l'aéroport[39], la courbe de demande devient non seulement la courbe d'évaluation marginale des usagers, mais aussi la courbe d'avantage social marginal (ASM) : à chaque niveau d'utilisation de l'installation, la courbe traduit les avantages pour la société d'une petite augmentation d'utilisation de l'aéroport.

Nous allons à présent voir quel est le coût social marginal (CSM) lié à une plus grande utilisation d'une installation. Les coûts relatifs à la détermination du niveau d'utilisation efficiente des ressources aéroportuaires fixes sont tous des coûts sociaux qui varient selon l'usage de l'aéroport et qui incluent notamment les coûts d'exploitation des avions, les coûts en temps-passagers, les coûts d'exploitation de l'aéroport et les coûts des externalités (comme les coûts dus au bruit). Lorsqu'on considère les coûts d'usage marginal, il est important d'établir la distinction entre les coûts assumés par l'usager

marginal et les coûts que ce dernier impose aux autres usagers. Dans le premier cas, il s'agit de coûts marginaux privés (CMP), les autres, ceux qui découlent de la congestion accrue que tout usager supplémentaire impose aux autres usagers, sont des coûts marginaux de congestion. La somme des coûts marginaux privés et des coûts marginaux de congestion constitue le coût social marginal pour l'usager (CSMU), le terme «social» indiquant ici que les coûts sont assumés par l'ensemble des usagers.

Quand l'usage passe de zéro à Q_o, il n'y a aucune congestion et le coût marginal privé (CMP) demeure constant à CM_1 (voir figure 1). Tous les usagers peuvent donc emprunter l'installation au rythme maximal que permet la technologie du moment, de sorte que le coût privé d'exploitation de tout avion supplémentaire est le même que pour l'exploitation de tous les avions précédents[40]. Comme CMP est constant, CM_1 est aussi égal au coût social moyen pour l'usager (CSAU) en l'absence de congestion. Lorsque l'utilisation passe au-delà de Q_o mouvements horaires, l'installation arrive à saturation et l'ampleur de la congestion augmente avec le nombre de mouvements horaires.

La congestion touche tous les usagers de la même façon. La somme du coût de la congestion, assumé par chaque usager, et du coût moyen d'exploitation pour l'usager, en l'absence de congestion (CM_1) correspond au CSAU. Comme l'usager marginal subit les mêmes coûts de congestion que les autres, le CMP est égal au CSAU. En outre, comme les usagers marginaux n'assument que la moyenne, et non la totalité, de l'augmentation du coût des retards découlant de l'utilisation de l'aéroport, le CMP est inférieur au coût d'usage marginal assumé par l'ensemble des usagers (CSMU). Si les usagers marginaux cessaient d'utiliser l'installation, les économies réalisées porteraient non seulement sur les coûts d'exploitation et de congestion assumés par les usagers marginaux (CSAU), mais également sur les coûts de congestion que les usagers marginaux imposent aux autres. En période de saturation du trafic, le coût total pour les usagers attribuable à toute augmentation marginale d'utilisation de l'aéroport (CSMU) est donc supérieur au coût assumé par les usagers marginaux (CMP) et, dès lors, la courbe CSMU demeure au-dessus de la courbe CMP dans toute la zone d'utilisation en situation de congestion (valeur supérieure à Q_o), et coïncide avec la courbe CMP pour tout usage de valeur inférieure à Q_o.

On peut élargir le concept de coût social marginal associé à un accroissement de l'utilisation pour inclure des coûts qui varient selon les usages, autres que les coûts directement assumés par les usagers. Ces coûts marginaux pour les non-usagers englobent les coûts marginaux d'exploitation de l'aéroport (comme le contrôle de la circulation aérienne et la remise en état des pistes) et les coûts marginaux d'externalités (comme les coûts dus au bruit). Tous ces coûts marginaux sont supposés constants à tous les niveaux d'utilisation, et égaux à $CM_2 - CM_1$ (Figure 7). On obtient la courbe de coût social marginal (CSM) par un déplacement vers le haut de la courbe de coût social marginal pour l'usager (CSMU), d'une valeur égale à $CM_2 - CM_1$. La courbe CSM représente la totalité des coûts dus à un accroissement de la fréquentation d'une installation correspondant à un mouvement à l'heure pour chaque niveau d'utilisation, ce coût social marginal inclut : les coûts d'exploitation et de temps-passagers, assumés par les usagers marginaux; le coût marginal de congestion imposé par les usagers marginaux sur les autres; le coût marginal d'exploitation de l'aéroport qu'entraîne le fait de servir les usagers marginaux, ainsi que les coûts marginaux dus au bruit et aux autres externalités attribuables aux usagers marginaux.

On peut déterminer le niveau d'utilisation et l'affectation efficientes de l'installation — auxquels, d'ailleurs, les avantages seront maximaux — à partir de la courbe de coût social marginal (CSM) et de la courbe des avantages sociaux marginaux (courbe de demande). Les avantages sociaux nets sont maximisés lorsque l'utilisation est maximisée, à condition qu'aucun usager n'accorde à l'utilisation de l'installation une valeur moindre que le coût social marginal de cette dernière. Cette condition est satisfaite lorsque les usagers marginaux (ceux pour qui l'utilisation présente le moins de valeur) accordent à l'usage une valeur qui n'est pas inférieure au coût social marginal découlant des services qu'on leur consent. Compte tenu de ces limites, on peut maximiser l'utilisation d'une installation en répartissant l'usage entre tous les usagers, en fonction de la valeur qu'ils y accordent, jusqu'à ce que l'évaluation des usagers marginaux (et donc l'ASM) soit égale au coût social marginal. Cette solution est illustrée graphiquement à la figure 7, par l'intersection de la courbe de demande avec la courbe CSM, au niveau d'utilisation Q* et au niveau de coût social marginal CSM(Q*).

On remarquera que la congestion ne disparaît pas au niveau correspondant à l'utilisation efficiente de l'installation Q*. La maximisation des avantages sociaux nets ne signifie pas l'élimination la congestion, mais plutôt une plus

grande utilisation des installations jusqu'à ce que le coût social marginal des travaux d'agrandissement (qui a tendance à augmenter sous l'effet d'une augmentation de la congestion) dépasse la valeur que lui accordent les usagers marginaux. Donc, le niveau d'utilisation efficiente ne correspond pas à un niveau de congestion zéro, Q_o, mais bien à Q*, qui est le niveau optimal de congestion. On remarquera également que le niveau d'utilisation efficiente Q* n'est pas le niveau d'utilisation que l'on obtiendrait en l'absence d'intervention par l'autorité aéroportuaire.

Les nouveaux usagers ont intérêt à utiliser l'installation, tant que la valeur marginale qu'ils attribuent à l'utilisation de cette dernière est supérieure à leurs coûts marginaux privés. Par conséquent, en l'absence de toute forme de réglementation, le degré d'utilisation de l'installation dépasserait le niveau optimal social, pour atteindre un niveau d'équilibre privé, Q_p, où le coût social marginal dépasse de beaucoup l'avantage social marginal; l'ampleur de la perte de bien-être (perte d'ASN), due à un fonctionnement à Q_p plutôt qu'à Q_o, correspond à la zone hachurée de la figure 7. Cette perte de bien-être, en l'absence de règlements, équivaut à un dysfonctionnement du marché à cause des coûts externes importants (surtout des coûts de congestion) générés par l'utilisation d'une installation dont les coûts d'exploitation ne sont pas assumés par les usagers. Afin de parvenir à une utilisation sociale optimale, les autorités aéroportuaires doivent intervenir, que ce soit en imposant des restrictions à l'usage ou une tarification d'utilisation qui fait supporter le coût social marginal aux usagers.

La politique optimale à court terme consiste à utiliser l'installation au débit Q* et à limiter l'accès de celle-ci aux usagers qui y attribuent une valeur supérieure à CSM(Q*). En termes de procédures, la mise en oeuvre d'une telle politique exige l'adoption des mesures suivantes :

- Répartition de l'utilisation entre les différents usagers, dans l'ordre décroissant de valeur que les uns et les autres y attribuent.
- Maintien de l'accroissement de l'utilisation jusqu'à ce que la valeur que tout nouvel usager potentiel accorde à l'installation soit inférieure au coût social marginal découlant de l'accroissement du niveau d'utilisation.

Selon la première mesure, on répartit efficacement l'utilisation de l'installation entre les différents usagers, sans égard au niveau global d'utilisation.

Selon la deuxième, l'utilisation est portée à son niveau efficient, où la valeur marginale de l'usage est égale au coût social marginal.

4.2 OPTIONS D'AFFECTATION DES CAPACITÉS

Affectation administrative

La technique la plus courante de gestion d'une capacité aéroportuaire fixe est celle du contingentement du trafic imposé par les autorités aéroportuaires. Généralement, un comité d'établissement des horaires, composé de représentants des compagnies aériennes, attribue des quotas de trafic préétablis aux différents transporteurs, sous la forme de créneaux et d'horaires[41]. Cette méthode de répartition des créneaux et des quotas est utilisée dans plusieurs grands aéroports canadiens et américains, de même que dans plusieurs aéroports en Europe et en Asie.

Reste à savoir si cette méthode administrative peut permettre de rationner efficacement le contingentement du trafic (autrement dit accorder la priorité aux usagers qui accordent le plus de valeur à l'utilisation de l'installation). L'un des obstacles fondamentaux à toute répartition efficiente de quotas est l'incapacité dans laquelle se trouvent les autorités aéroportuaires de connaître la valeur que les usagers potentiels accordent à l'utilisation de l'aérodrome, d'où leur incapacité d'affecter unilatéralement le quota d'une façon qui reconnaisse la priorité aux usagers les plus intéressés. Par ailleurs, l'autorité aéroportuaire ne peut s'attendre à ce que les usagers déclarent franchement la valeur qu'ils accordent à la fréquentation des installations, car ils ont plutôt intérêt à «forcer la note» dans l'espoir de se voir attribuer de meilleurs créneaux. Même les règles permettant d'estimer la valeur accordée par chaque usager ne sont pas infaillibles. Ainsi :

> Selon le système actuel d'établissement de l'horaire par comité, il est bien possible de prescrire une règle selon laquelle un avion nolisé obtiendra un créneau d'heure de pointe de 17 h, même s'il importe peu pour les touristes qu'il transporte d'atterrir à 17 h ou à 20 h, tandis qu'un président d'une grande entreprise locale qui voyage à bord d'un petit avion privé verra son vol retardé de trois heures et perdra ainsi la chance de conclure une entente qui aurait créé beaucoup d'emplois dans la région. Bien que, pour cette personne, le créneau d'atterrissage de 17 h soit plus important que pour l'avion nolisé, le comité qui établit les horaires n'a aucun moyen de le savoir[42].

Il est cependant un problème plus préoccupant, celui des vols de l'aviation générale, de faible valeur, qui retardent les vols commerciaux de grande valeur. L'affectation inefficiente des quotas est toujours possible parce qu'on fixe, normalement, des contingents distincts, pour l'aviation générale d'une part, et pour l'aviation commerciale d'autre part; en outre, les créneaux réservés aux opérations de l'aviation générale sont affectés selon un régime de réservation où la priorité revient au premier arrivé. Ce faisant, on affecte à des vols de l'aviation générale des créneaux qui ne sont pas fonction de la valeur relative que leur accordent les usagers, pas plus en comparaison avec les autres exploitants de l'aviation générale, qu'avec les exploitants commerciaux.

Si l'on suppose qu'il est possible de trouver un mécanisme pour englober l'aviation générale dans le système d'affectation des créneaux, de sorte que ces derniers puissent être attribués à tous les vols — de l'aviation générale comme de l'aviation commerciale — en fonction de la valeur qu'on leur accorde, il reste encore à concevoir un système d'affectation administrative permettant de désigner les usagers les plus intéressés et de leur concéder la priorité. Or, comme en l'absence d'incitations particulières, les usagers n'ont pas intérêt à faire véritablement état de la valeur qu'ils accordent à ces créneaux, il faut les placer dans une situation où les moins intéressés se déclarent prêts à accepter une compensation pour renoncer à leur droit sur les créneaux. Par ailleurs, les usagers les plus intéressés doivent se montrer disposés à payer plus. Il est donc possible d'amener les usagers à se répartir efficacement entre eux les quotas de trafic, par le biais d'un mécanisme compétitif exigeant des plus intéressés qu'ils dédommagent les autres, pour avoir le droit d'utiliser les créneaux en période de pointe.

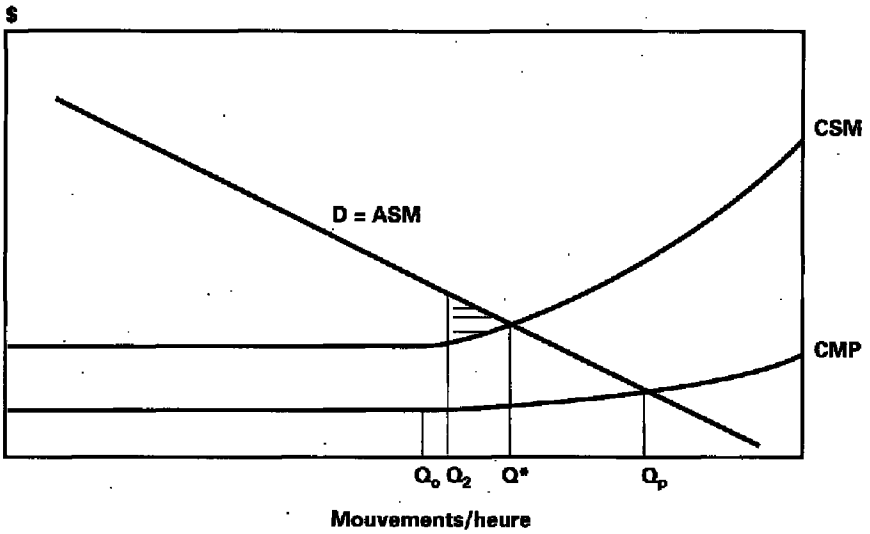
On peut soutenir que le processus de négociations propre au système d'affectation des créneaux par un comité d'établissement des horaires est un mécanisme compétitif permettant de parvenir à une répartition efficiente des contingents de trafic. La nature compétitive de ce processus exige que chaque compagnie aérienne fasse des concessions quant au nombre de vols qu'elle exploitera durant les heures de pointe. Chaque compagnie devra donc abandonner les vols auxquels elle accorde le moins de valeur, pour conserver ceux auxquels elle accorde le plus de valeur. Dans certaines circonstances, il y a donc toutes les chances pour qu'un tel processus de négociation donne lieu à une répartition efficiente des quotas de trafic. Pour cela, il faut que le nombre de compagnies aériennes soit faible, qu'elles

aient à peu près la même répartition des valeurs pour les créneaux et que chacune connaisse la situation des autres sur le plan des coûts et de la demande[43]. Au fur et à mesure que le nombre de compagnies aériennes augmente, et que les nouvelles arrivantes ont des valeurs différentes, l'issue du processus de négociation devient de moins en moins prévisible et il n'est plus du tout certain qu'il permette, à lui seul, de parvenir à une affectation efficiente. Cependant, si l'on suppose que les compagnies aériennes sont disposées à se compenser réciproquement, alors il est probable que l'on parvienne malgré tout à attribuer les quotas de façon efficace.

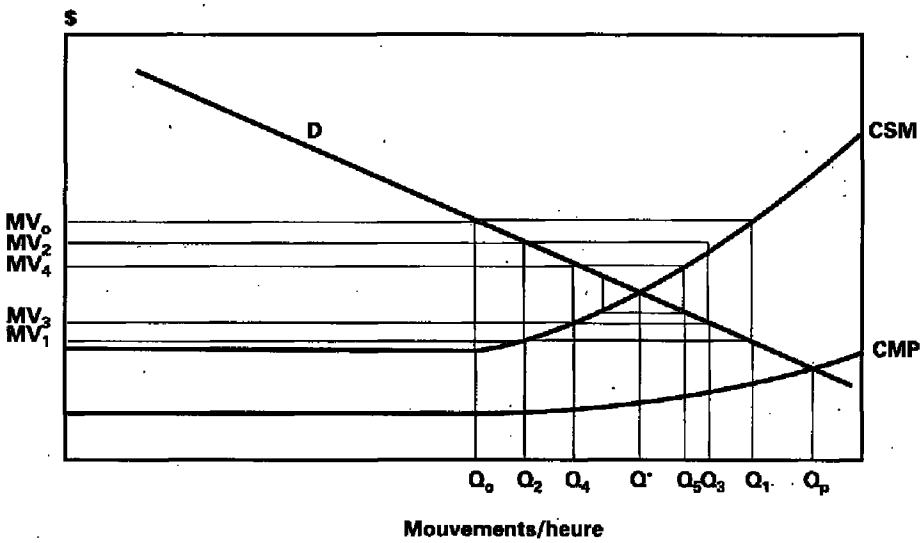
Outre la nécessité d'affecter efficacement les quotas, l'utilisation efficiente d'une capacité fixe exige que les quotas eux-mêmes soient fixés à un niveau efficient, de sorte que l'avantage social marginal et le coût social marginal liés à l'utilisation de l'installation soient égaux. Comme nous l'avons vu à l'analyse des conditions de négociation, une autorité aéroportuaire ne connaissant pas la valeur qu'accorde chaque usager à l'utilisation de l'aéroport, pourrait peut-être concevoir un mécanisme administratif permettant de gérer efficacement une politique de contingentement. Cependant, il ne lui sera pas possible de s'assurer que les quotas sont fixés au niveau efficient, si elle ignore la valeur que les usagers marginaux accordent à l'utilisation, en regard des quotas établis.

Comme l'illustre la figure 8, si l'autorité fixe un quota de trafic correspondant à Q_2 mouvements horaires, et que les mouvements sont correctement répartis à Q_2, on a encore affaire à une perte de bien être social correspondant au triangle ombré, par rapport au niveau de quota efficient Q*. Ce phénomène tient au fait que, pour un quota de trafic Q_2, la valeur que les usagers marginaux accordent à l'utilisation de l'installation est supérieure au coût social marginal. Il en résulte que des usagers ($Q^* - Q_2$) n'utilisent pas les installations, même s'ils lui accordent une valeur supérieure au coût social marginal (ce qui inclut le coût de la congestion supplémentaire qu'ils imposent aux autres usagers); dès lors, le quota de trafic doit être augmenté. Mais si l'autorité aéroportuaire ignore l'évaluation de l'usager marginal, elle ne sait pas qu'elle doit ouvrir ses quotas.

Figure 8
QUOTA INEFFICIENT



AJUSTMENT DU QUOTA À SON NIVEAU EFFICIENT



Donc, même si des systèmes d'affectation de créneaux, dépendant de la négociation entre usagers, pourraient permettre de répartir de façon efficiente un quota fixe de trafic, l'incapacité de l'autorité aéroportuaire de constater l'évaluation de l'usager marginal empêche tout ajustement du

quota à son niveau efficient. Cela étant, les méthodes administratives peuvent permettre de répondre au premier critère d'utilisation efficiente d'une capacité aéroportuaire fixe (autrement dit au fait qu'un niveau d'utilisation donné doit être affecté de façon efficace entre les usagers), mais elles risquent de ne pas répondre au second critère, celui d'une utilisation fixée au niveau efficient. Dans ces conditions, l'importance de la perte de bien-être dépendra de la capacité de l'autorité aéroportuaire d'estimer la courbe de demande combinée des usagers et donc le quota de trafic optimal Q*. Si, plutôt que d'estimer Q*, l'autorité aéroportuaire s'en tient à une politique de contingentement du trafic, à un niveau où il n'y a aucune congestion (Q_o), alors une perte de bien-être s'ensuivra inévitablement.

En plus des questions qu'il soulève du point de vue de son efficacité dans la gestion d'une capacité aéroportuaire fixe, le système d'affectation administrative risque d'être jugé d'anticompétitif et de soulever quelque inquiétude relativement au recouvrement des coûts. Les compagnies aériennes présentes sur le marché ont intérêt à résister à l'ouverture des quotas de trafic, si celle-ci doit se traduire par l'admission de nouvelles compagnies aériennes dans le processus d'affection. Si, par exemple, l'autorité aéroportuaire cherche à porter le quota de trafic au-delà de Q_o et à admettre en même temps de nouvelles compagnies aériennes dans le processus d'affectation, elle risque de se faire critiquer par les compagnies aériennes titulaires craignant que l'ouverture des quotas n'entraîne une augmentation de la congestion dont les coûts seraient supérieurs aux avantages d'une utilisation accrue. Ce genre de critique serait tout à fait fondé du point de vue des titulaires, mais ne vaudrait pas sur le plan des avantages sociaux. Dès lors, il faut que les systèmes d'affectation administrative s'appuient sur un mécanisme explicite permettant d'accueillir de nouveaux participants au processus d'affectation, pour que le système ne devienne pas une barrière à l'accès.

Répartition des créneaux par loterie ou mise aux enchères

Il est possible de régler le problème de l'efficacité que soulève l'affectation administrative si l'on remplace le mécanisme de négociation par un marché explicite dans lequel les usagers achètent et vendent les créneaux des périodes de pointe. Toutefois, afin que les usagers puissent effectivement vendre leurs créneaux, il faut commencer par leur céder les droits de propriété y afférant, d'où la question de savoir comment distribuer ces derniers à l'amorce du processus.

Les compagnies aériennes titulaires pourront soutenir que, compte tenu des investissements notoires qu'elles auront effectués dans les installations existantes, les droits de créneaux doivent leur être cédés sur la base des régimes d'utilisation en place. Cependant, le fait de céder les droits de propriété des créneaux aux compagnies titulaires soulève le même genre de problèmes sur le plan de la compétitivité que l'affectation administrative. En fait, les tendances anticompétitives risquent même d'être renforcées par un système qui accorderait les droits de propriété des créneaux aux usagers : une compagnie aérienne titulaire, pour des raisons purement stratégiques, pourrait ne pas vouloir vendre ses droits de créneaux à un nouvel arrivant, même si ce dernier était disposé à payer plus que la valeur que le titulaire accorderait à ce même créneau.

Un système permettant d'affecter les droits de créneaux sur une base autre que l'utilisation actuelle, permettrait de prévenir les activités anticoncurrentielles. Les droits de propriété pourraient être répartis de façon aléatoire, à l'occasion d'une loterie périodique tenue par l'autorité aéroportuaire, puis achetés ou vendus par les compagnies aériennes, étant entendu qu'ils arriveraient à échéance à la date de la loterie suivante. Cependant, la répartition des créneaux suivant cette formule soulève un problème d'équité : grâce à ce système, les nouveaux arrivants accordant peu de valeur à l'utilisation de l'aéroport pourraient obtenir des gains imprévus et se trouver en position de vendre leurs droits aux titulaires qui y attribuent une valeur supérieure. La possibilité de gains imprévus exige donc l'imposition de garde-fous dans le système de loterie, comme des droits d'inscription, afin de décourager les nouveaux venus illégitimes. Toutefois, même si elles procurent des gains imprévus à certains dans leur forme la plus pure, les loteries ne rapportent rien à l'exploitant de l'aéroport au titre du recouvrement des coûts.

Si l'on s'appuie sur un mécanisme de marché, plutôt que de négociation, pour répartir les quotas de trafic, il y a beaucoup plus de chances que l'on parvienne à un système efficient. En effet, le mécanisme de marché permet de s'assurer que le quota de trafic attribué par loterie peut être redistribué entre les usagers en fonction de leur volonté de payer, étant donné que les usagers les moins intéressés seront toujours disposés à vendre leurs créneaux aux usagers demandeurs. En outre, la redistribution périodique des droits, par loterie, peut contribuer à décourager l'adoption de comportements stratégiques par les usagers qui accordent en fait le moins de valeur à l'utilisation des installations.

Il demeurerait tout de même le problème de la fixation des quotas de trafic à un niveau efficient, étant entendu que l'autorité aéroportuaire doit commencer par déterminer un tel niveau pour décider du nombre de créneaux à proposer à la loterie. Par contre, le mécanisme de marché est beaucoup plus susceptible que le mécanisme de négociation de donner une indication claire à l'autorité aéroportuaire du moment où les quotas doivent être ajustés à leur niveau optimum. Le prix du rajustement du marché pour les créneaux devrait être un bon indicateur de la valeur que les usagers marginaux accordent à l'utilisation[44]. Si l'autorité aéroportuaire parvient à connaître ce prix — éventuellement en faisant office de contrepartiste — elle peut alors s'en servir pour ajuster le quota de trafic dans le sens de son niveau optimal lors de la loterie suivante.

La figure 8 illustre ce genre de processus d'ajustement. L'autorité aéroportuaire commence par mettre à la loterie un quota Q_o et constate ensuite la valeur marginale MV_o, d'après la revente des créneaux. Elle calcule alors le niveau de quota auquel le coût social marginal est égal à MV_o (soit Q_1) et fixe le quota à Q_1 lors de la loterie suivante[45]. Après cette loterie, l'autorité constate l'existence d'une valeur marginale MV_1 et fixe le quota pour la loterie suivante à Q_2. Le processus se poursuit ainsi et l'autorité aéroportuaire utilise la nouvelle valeur marginale connue pour faire tendre le quota vers son niveau efficient, Q*. À en juger d'après le cheminement en toile d'araignée illustré à la figure 8, il est évident que le quota tend vers Q*[46].

L'utilisation de cet algorithme, en vue d'ajuster le quota à son niveau efficient, n'exige pas de l'autorité aéroportuaire qu'elle connaisse tous les points de la courbe de demande des usagers, mais simplement qu'elle ait une idée de l'évaluation marginale des usagers, pour un quota donné, et cela par observation du prix des droits de créneau sur le marché. Donc, l'algorithme, même s'il est appliqué ici à une demande stable, doit pouvoir résister au déplacement intemporel de la demande. Toutefois, comme il dépend des prix du marché en tant qu'indicateur de l'évaluation marginale des usagers, il peut être faillible. Chaque usager a intérêt à faire porter le quota au-delà de son niveau social optimal (Q*), jusqu'à son niveau privé optimal (Q_p). À cette fin, les titulaires pourraient être tentés de manipuler le mécanisme d'ajustement des quotas en gonflant le prix du marché au-delà du niveau réel et en se remboursant, par la bande, des sommes non observables. Par conséquent, même si le système de loterie des créneaux, doublé d'un marché de revente, permet une affectation plus efficiente des quotas et de mieux savoir quand il convient d'ajuster ces derniers que le

système d'affectation administrative, les intérêts en jeu risquent encore de gêner la mesure de l'évaluation marginale des usagers.

Les problèmes d'équité et de recouvrement des coûts, associés à une affectation aléatoire des quotas de trafic, peuvent être aisément résolus si l'on remplace la loterie par la mise aux enchères périodique des créneaux. Le mécanisme des enchères permet l'affectation initiale des créneaux, et comme il est fondé sur la volonté des usagers de payer, il permet d'éviter tout problème d'équité. En outre, si l'on rend possibles les échanges des droits de propriété des créneaux, après leur répartition aux enchères, on se trouve à compenser tout défaut d'affectation pouvant découler de ce système (comme ceux qui émanent du caractère dynamique du procédé de mise aux enchères), et assurer que l'affectation finale répond au meilleur critère d'efficacité. Les produits de la mise aux enchères reviennent normalement à l'autorité aéroportuaire, et non aux bénéficiaires de gains inattendus, qui peut donc l'appliquer au recouvrement des coûts.

Bien que, sur le plan de l'efficacité de la répartition des quotas de trafic, un système de mise aux enchères avec marché à la revente soit aussi valable que tout autre mécanisme d'affectation s'accompagnant également d'un marché à la revente, le problème de la détermination du niveau efficace des quotas demeure entier. Dans le système de mise aux enchères des créneaux, le processus d'ajustement des quotas à leur niveau efficient est compliqué par la présence de deux indicateurs de l'évaluation marginale des usagers, à savoir la plus basse offre gagnante et le prix du marché à la revente.

Établissement du prix en fonction du CSM

Chacune des méthodes de gestion de l'utilisation des installations à court terme que nous avons examinées jusqu'ici — soit l'affectation administrative, la loterie et la mise aux enchères — permet d'attribuer de façon efficace un quota de trafic donné et répond donc au premier critère d'utilisation efficiente des infrastructures. Cependant, elles présentent toutes un défaut pour ce qui est du second critère, celui de l'estimation des évaluations marginales des usagers en vue de déterminer le niveau le plus efficient auquel fixer les quotas de trafic. Ce problème est lié à la nature même des systèmes d'affectation qui dépendent de méthodes quantitatives de contrôle de l'utilisation, par la limitation de l'usage à un certain nombre de mouvements horaires, établi d'avance. L'autre solution consiste à contrôler

l'utilisation à partir d'une évaluation marginale minimum, plutôt que d'un niveau d'utilisation maximum. Il s'agit simplement ici de fixer un prix pour l'utilisation d'une installation donnée, puis de permettre à l'usager qui consent à acquitter ce prix d'utiliser ladite installation. Chaque prix donne lieu à un niveau unique d'utilisation par les usagers, comme l'illustre la courbe de demande. Dès lors, l'autorité aéroportuaire peut contrôler l'utilisation en agissant sur les prix que les usagers sont prêts à payer, de façon tout aussi efficace que si elle contrôlait directement le niveau d'utilisation.

Les avantages immédiats que procure un contrôle par les prix plutôt qu'un contrôle quantitatif, tiennent au fait que le premier critère d'utilisation efficiente — à savoir l'affectation de l'utilisation aux usagers, selon l'évaluation qu'ils en font — est respecté à tous coups. En effet, le contrôle par le prix tient lieu de mécanisme de sélection qui amène les usagers peu intéressés à se démarquer des usagers intéressés : pour un prix donné, seuls les usagers qui accordent plus de valeur au droit d'usage qu'au prix seront disposés à payer et donc à utiliser l'installation. On a beaucoup plus de chances de parvenir à une affectation efficiente grâce à un contrôle par les prix qu'avec n'importe lequel des autres mécanismes que nous avons vus jusqu'ici, ces derniers risquant de donner lieu à des affectations inefficientes au début, raison pour laquelle ils exigent qu'on ait recours aux marchés à la revente afin d'assurer une certaine efficience dans les affectations définitives. Comme ils dépendent des échanges entre usagers, pour garantir la répartition des créneaux sur la base de la volonté de payer, ces marchés à la revente ont une propension à générer des coûts élevés de transaction et des données imparfaites et à susciter des comportements stratégiques. Par contre, parce qu'elle impose une limite à l'évaluation de l'usager, plutôt qu'à l'utilisation, la politique de contrôle par les prix débouche systématiquement sur une affectation efficace : chaque usager qui accorde plus de valeur à l'utilisation qu'aux prix reçoit un droit d'usage.

Reste alors le problème de la fixation d'un prix à son niveau efficient, autrement dit à un niveau permettant la réalisation du second critère d'utilisation efficiente. Le prix efficient s'entend de celui qui produit un niveau d'utilisation auquel l'avantage social marginal est égal au coût social marginal, c'est-à-dire, au niveau Q* que nous avons vu plus tôt à la figure 7. Il s'ensuit que le prix efficient correspond à CSM(Q*), car il impose à chaque usager la totalité du coût social d'un usage marginal. Cette internalisation du coût de congestion par l'usager permet de corriger les dysfonctionnements du

marché (autrement dit la divergence entre l'optimum social et l'optimum privé) qui surviennent lorsque les usagers ne paient qu'en fonction de leurs coûts marginaux privés, et elle donne lieu à un équilibre optimum sur le plan social et non sur le plan privé.

Afin de s'assurer que les usagers paient le prix CSM(Q*) pour utiliser l'installation, il n'est pas nécessaire d'exiger des droits d'usage ou des redevances égaux à CSM(Q*), puisque l'usager s'acquitte déjà du coût marginal privé qui est CMP(Q*). Il suffit de l'application d'une redevance équivalente à CSM(Q*) – CMP(Q*) pour amener les usagers à internaliser le coût social marginal de l'usage. Comme le coût marginal privé est le même pour tous et qu'il est donc égal au coût social moyen pour l'usager (CSAU), la redevance optimale correspond dès lors à CSM(Q*) – CSAU(Q*), c'est-à-dire au coût social marginal moins le coût moyen pour l'usager au niveau optimal d'utilisation.

Cependant, comme l'autorité aéroportuaire ne connaît pas la courbe de demande, mais seulement les courbes de coûts, on ne connaît pas CSM(Q*) qu'il convient donc de trouver par le biais d'un processus itératif, analogue à celui utilisé pour ajuster les quotas de trafic. L'algorithme d'ajustement de la redevance d'utilisation à son niveau optimal est inclus dans la politique qui consiste à fixer une redevance égale à CSM(Q) – CSAU(Q), à quelque niveau d'utilisation du moment (Q) que ce soit. Une telle politique est connue sous le nom d'établissement du prix en fonction du coût social marginal (établissement du prix en fonction du CSM). Il est facile de démontrer que la redevance d'utilisation tend vers son niveau optimal quant on applique ce genre de politique des prix. Supposons que l'utilisation de l'installation soit fixée, au début, au niveau maximum sans congestion, soit Q_o. Cette méthode d'établissement des prix commande que l'on fixe initialement une redevance d'utilisation égale à $CSM(Q_o) - CSAU(Q_o)$ permettant de faire effectivement basculer à la hausse la courbe de coût moyen des usagers, la courbe CSAU (et donc la courbe CMP) suivant $CSM(Q_o) - CSAU(Q_o)$. En réaction, les usagers porteront leur niveau d'utilisation au niveau optimal privé Q_{p1}, qui correspond à l'intersection de la courbe CMP avec la courbe de demande. Si l'autorité aéroportuaire refixe alors la redevance à $CSM(Q_{p1}) - CSAU(Q_{p1})$, les usagers réagissent en diminuant leur niveau d'utilisation pour l'amener au nouveau niveau optimal privé Q_{p2}. L'algorithme se poursuit, et l'autorité aéroportuaire, en se fondant sur les réactions des usagers, fixe les nouveaux prix CSM, jusqu'à ce que Q_{pn} converge vers Q* et que la redevance tende vers son niveau optimal qui correspond à CSM(Q*) – CSAU(Q*).

La politique d'établissement du prix en fonction du CSM, qui est à la base même de cet algorithme, n'exige que la connaissance des courbes de coût marginal privé et de coût social marginal, propres à l'installation, et non de la courbe de demande. Par ailleurs, l'algorithme n'exige pas la constatation de l'évaluation marginale des usagers, parce que les prix d'essai, utilisés dans l'algorithme, se ramènent essentiellement à des évaluations marginales d'essai. L'algorithme ajuste l'évaluation marginale à son niveau optimum par l'observation des réponses quantitatives plutôt que par une observation des réponses d'évaluation marginale. La valeur de cet algorithme d'ajustement des prix, en comparaison avec les algorithmes d'ajustement des quotas, tient au fait que l'autorité aéroportuaire n'a pas à observer une quantité intangible (l'évaluation marginale des usagers en réponse aux quotas d'essai), mais bien une quantité palpable (le niveau d'utilisation en réponse à chaque prix d'essai).

Jusqu'ici, dans notre analyse de l'utilisation de l'aéroport, nous avons supposé une courbe de demande statique. Or, il convient à présent d'introduire différents niveaux de demande, selon l'heure du jour, la saison et l'année civile, afin de modéliser plus précisément encore la nature fluctuante de la demande qui évolue par à-coups (périodes de pointe). L'établissement du prix en fonction du CSM fait appel à des redevances d'utilisation optimale qui peuvent varier selon le niveau de demande. Tout déplacement de la courbe de demande conduit nécessairement à un changement du niveau d'utilisation de l'installation, qui devient optimal sur le plan social (quand la courbe de demande coupe la courbe CSM), et donc à un changement de la redevance optimale. Par exemple, toute augmentation du niveau de demande entraîne une augmentation du niveau d'utilisation optimale sur le plan social, mais à ce nouveau niveau, le coût marginal de congestion est supérieur et, par conséquent, il faut imposer une redevance plus élevée afin de limiter l'utilisation aux seuls usagers disposés à assumer le coût social de leur usage. Ce faisant, dans une politique de prix fondée sur le coût social marginal on reconnaît qu'il est tout à fait justifié, sur le plan social, de permettre une augmentation de la congestion lorsque la valeur que les usagers placent sur l'utilisation augmente, tout en limitant l'aggravation de la saturation à un niveau qui corresponde au prix que les usagers sont prêts à payer. Donc, l'établissement du prix en fonction du CSM commande des redevances plus élevées lorsque la demande est forte et des redevances moins élevées lorsque la demande est faible. Sur un plan pratique, il s'ensuit que les redevances établies par cette politique de prix doivent être plus élevées durant

les périodes et les saisons de pointe que durant les périodes et les saisons creuses et que, en outre, elles sont censées augmenter pendant la durée de vie de l'installation, sous l'effet d'une augmentation de la demande.

4.3 LA POLITIQUE DES TARIFS EN MARCHE

Comme nous l'avons vu, l'établissement du prix en fonction du coût social marginal (CSM) constitue le mécanisme le plus efficace pour régir l'utilisation d'installations aéroportuaires fixes, puisqu'elle permet de s'assurer que cette utilisation n'est permise qu'à ceux qui en apprécient l'usage (ce que confirme leur volonté de payer), à un niveau qui est au moins égal au coût social marginal lié à une telle utilisation. Le fait d'imposer un coût social marginal à un usager revient à lui demander d'acquitter un coût que l'on éviterait autrement s'il n'utilisait pas l'installation. Dans le cas des taxes d'atterrissage, la méthode d'établissement du prix en fonction du CSM se compose donc de trois éléments : le coût d'exploitation marginal de l'aéroport lié à l'accueil de l'avion, le coût marginal dû au bruit de l'avion et le coût marginal de congestion (retard) que l'avion impose aux autres appareils.

La variation des redevances d'atterrissage d'un type d'avions et d'une période à l'autre, selon la méthode de l'établissement du prix en fonction du CSM, tient aux importances relatives et à la variation, par type d'avions et par période de la journée, des trois éléments du coût marginal social. L'analyse des coûts sociaux marginaux, à l'aéroport international Pearson, indiquent que le coût marginal d'exploitation est faible relativement aux deux autres éléments de CSM, et qu'il est relativement constant (de l'ordre de 5 $ à 10 $) pour tous les types d'avions et toutes les périodes considérées. Par contre, le coût marginal dû au bruit varie selon le type d'avions (de 25 $ à 200 $) et, dans une moindre mesure, selon la période du jour. Le coût marginal de congestion varie essentiellement selon l'heure du jour (et selon la saison) et, dans une moindre mesure, selon le type d'avions; on constatera des coûts de congestion importants (de l'ordre de 130 $ à 220 $) pendant les périodes de pointe, et des coûts de congestion négligeables aux périodes creuses. Les coûts marginaux de congestion des avions légers sont quasiment aussi élevés que ceux des gros avions, parce que les premiers restent presque aussi longtemps sur la piste que les gros-porteurs et que le coût d'opportunité d'une minute passée sur la piste en période de congestion est la même pour tous les appareils. Le coût d'opportunité du temps passé sur la piste

est élevé en période de congestion, parce qu'il faut tenir compte du coût important que représente le fait de retarder un avion gros-porteur.

Aux aéroports congestionnés, l'établissement du prix en fonction du CSM nécessite donc l'application d'un régime de redevances d'atterrissage qui se caractérise par un droit de base égal au coût marginal dû au bruit et au coût marginal d'exploitation de l'aéroport, coûts valables pour tous les jours et qui ne varie qu'en fonction des types d'avions. S'ajoute à cette redevance, un droit fondé sur le coût marginal de congestion pendant les heures de pointe (et les saisons de pointe) qui varie quelque peu d'un type d'avions à l'autre. Pour ce qui est de l'allégement de la congestion du trafic aux aéroports, l'élément clé de l'établissement du prix en fonction du CSM réside dans l'important écart qui existe entre les redevances exigées pendant les périodes de pointe et celles qui sont exigées pendant les périodes creuses, pour tous les avions.

L'affectation efficiente des ressources de l'aéroport n'est pas le seul objectif de la politique gouvernementale. Comme nous l'avons vu plus tôt, la politique de recouvrement des coûts proposée par Transports Canada, pour tous ces aéroports a pour objectif de récupérer les coûts de fonctionnement et des immobilisations des aéroports. Compte tenu de cette contrainte, le système d'établissement des prix est appelé à remplir un double rôle, d'une part celui de favoriser une affectation efficace des ressources aéroportuaires et, d'autre part, celui de générer des recettes permettant de récupérer les coûts de fonctionnement et des immobilisations. L'établissement du prix en fonction du coût social marginal permet de récupérer automatiquement les coûts d'exploitation de l'aéroport, parce qu'il s'agit de coûts sociaux qui varient selon l'utilisation marginale de cet aéroport. Comme l'établissement du prix en fonction du CSM est une solution au problème de l'affectation efficace des ressources à court terme — autrement dit en fonction d'une capacité aéroportuaire fixe — les usagers ne couvrent pas directement les coûts des immobilisations nécessaires à la prestation de cette capacité[47]. Par contre, le coût marginal de congestion, qui varie selon l'importance du trafic, est imputé aux usagers. Selon la technique d'établissement du prix en fonction du CSM, l'autorité aéroportuaire doit se servir des recettes provenant des redevances imposées en période de congestion pour récupérer les coûts des immobilisations et financer l'accroissement de la capacité[48].

On a examiné en se servant d'un raisonnement purement théorique la question de savoir si les recettes générées grâce à un prix établi en fonction du CMS suffisent, de façon générale, à couvrir les coûts d'accroissement de la capacité. Le théorème de recouvrement des coûts, élaboré par Mohring et Harwitz (1962, 1970) prouve que, dans certaines conditions, les recettes provenant de redevances optimales au titre de la congestion sont égales aux coûts des immobilisations correspondant à un investissement effectué à un moment opportun[49]. Ces conditions sont les suivantes : que l'accroissement de capacité soit parfaitement divisible et caractérisée par des rendements d'échelle constants. Étant donné qu'il n'est en général pas possible de fractionner les investissements dans la capacité des pistes et des aérogares, il n'existe, en théorie, aucune garantie que les recettes provenant de l'imposition de prix établis en fonction du CSM permettent de couvrir entièrement les coûts de fonctionnement et des immobilisations des aéroports. Selon le niveau de congestion d'un aéroport, les recettes dérivées des droits imposés au titre de la congestion peuvent être soit insuffisantes, soit suffisantes, soit encore excessives par rapport aux coûts des immobilisations.

Donc, les recettes dérivées de l'imposition de redevances en compensation des coûts marginaux de congestion permettront de compenser les coûts des immobilisations en fonction du niveau de congestion de l'aéroport. Cependant, pour savoir si les coûts des immobilisations d'un aéroport particulier peuvent être couverts, il ne suffit pas de comparer les coûts des immobilisations annualisés à ce que rapportent les redevances au titre de la congestion dans une seule année, puisque le niveau de congestion, et donc les recettes annuelles que rapportent les redevances correspondantes, augmentent dans le temps, suivant l'évolution du trafic. Quand le niveau de congestion atteint un seuil critique (c'est-à-dire quand les recettes annuelles provenant des redevances imposées au titre de la congestion sont supérieures aux coûts d'opportunité (intérêts) du capital d'expansion), l'accroissement de la capacité se justifie; une fois la capacité accrue, le niveau de congestion et les redevances de congestion diminuent. Comme Oum et Zhang (1990) l'ont fait remarquer, c'est l'accélération de la croissance de la demande de trafic qui détermine si les recettes totales provenant des redevances imposées au titre de la congestion et recueillies pendant un cycle d'investissement (espace de temps entre le premier accroissement de capacité et le suivant), sont suffisantes pour couvrir les coûts des immobilisations[50]. Pour un certain taux de croissance moyen de la demande, il y a

plus de chances de récupérer les coûts des immobilisations si la demande (et donc le niveau de congestion) croît rapidement au début du cycle d'investissement et se stabilise ensuite, que si elle croît lentement au début du cycle pour s'accélérer à la fin.

À partir d'un modèle de simulation intégrant les paramètres de demande et de capacité à l'aéroport international Pearson, et après avoir retenu l'hypothèse d'un taux de croissance annuel moyen de la demande de 3,5 pour cent, Oum et Zhang ont constaté que les recettes provenant des redevances marginales de congestion permettent de couvrir les coûts des immobilisations, sans égard au rythme de croissance du trafic. Pour une capacité initiale de deux pistes, même l'hypothèse la plus pessimiste à propos du régime de croissance du trafic (faible croissance au début, puis accélération dans les dernières années du cycle) donne lieu à un recouvrement des coûts (tout juste), puisque le ratio de recouvrement est de 1.01. Quant aux hypothèses plus optimistes, elles débouchent sur des excédents financiers, avec des ratios de recouvrement de coûts oscillant entre 1.1 et 1.3. Par contre, ces chercheurs ont également constaté que le ratio de recouvrement de coûts augmente selon le niveau de capacité initial, pour atteindre 2.3 dans le cas d'une capacité initiale de quatre pistes. La relation très nette entre la capacité de l'aéroport et le recouvrement du coût des capacités supplémentaires tient au fait que, dans les grands aéroports, toute augmentation de capacité représente un accroissement proportionnellement plus faible que dans les aéroports de moindre importance. Quand l'accroissement de capacité est moins monolithique en termes relatifs, le trafic croît suffisamment pour que, dans les grands aéroports, la congestion refasse son apparition plus tôt que dans les petits aéroports. Cela étant, les recettes découlant des redevances imposées au titre de la congestion dans les grands aéroports sont suffisantes pour rembourser plus rapidement les coûts d'accroissement de la capacité que dans les petits aéroports.

Il s'ensuit que, dans les grands aéroports où les conditions de demande et de capacité sont semblables à celles de Pearson, l'application d'un prix en fonction du CMS est susceptible de couvrir les coûts des immobilisations et les coûts de fonctionnement. Cependant, ce constat n'est pas applicable aux aéroports beaucoup plus petits où le caractère relativement indivisible des travaux d'accroissement de capacité ou le rythme plus lent de croissance de la demande, ou les deux, font que le recouvrement des coûts par le biais des redevances de congestion est peu probable. Par conséquent, on peut

conclure que les redevances maximales correspondant au coût marginal de congestion, et donc l'établissement d'un prix en fonction du CSM, peuvent effectivement permettre de couvrir les coûts des immobilisations dans les grands aéroports congestionnés, mais que cette possibilité est plus mince dans le cas des petits aéroports ou des aéroports non congestionnés.

Si le recouvrement des coûts s'impose, mais qu'il n'est pas entièrement réalisé par la méthode d'établissement du prix en fonction du CSM, on peut avoir recours à la méthode Ramsey qui est la plus efficace pour combler le manque à gagner en l'absence de coûts d'externalités (comme ceux liés à la congestion ou au bruit). Celle-ci consiste à établir un prix par majoration différentielle qui est supérieur au coût marginal privé de l'aéroport (coût d'exploitation), dans une proportion inverse à l'élasticité de la demande des segments d'usagers séparables. Dans le cas plus général où l'on est en présence de coûts d'externalités, la méthode Ramsey consiste à appliquer un prix par majoration différentielle, pour toute la gamme des coûts marginaux privés et pour une partie des coûts marginaux d'externalités. Dans les deux cas, la technique de tarification Ramsey permet de recouvrer efficacement les coûts par l'imposition d'un tarif supérieur au coût marginal, qui est proportionnellement plus élevé dans le cas des usagers les plus intéressés et qui est donc relativement moins important dans le cas des autres usagers. Ce faisant, on est certain que ces majorations permettent de contenir le trafic et, par conséquent, d'atténuer la perte d'efficience due au fait qu'on s'écarte des prix établis en fonction du CSM.

Comme les majorations de Ramsey varient de façon proportionnellement inverse à l'élasticité des prix de la demande des usagers, en pratique, la formule Ramsey se traduit par des redevances d'atterrissage qui varient d'un type d'avion à l'autre, les avions gros-porteurs étant plus taxés que les autres. En outre, les prix de la formule Ramsey peuvent également varier selon l'heure du jour, puisqu'un avion d'un type donné peut présenter une demande plus inélastique en période de pointe qu'en période creuse. L'élasticité de la demande, et donc les prix établis selon la formule Ramsey, peuvent également varier suivant la longueur des étapes (étapes du vol) et le type d'utilisation (vol commercial, aviation générale, vol militaire ou gouvernemental). Dans les grands aéroports congestionnés, il est fort probable que les prix établis en fonction du CSM permettront de recouvrer les coûts des immobilisations, sans qu'il soit nécessaire d'appliquer la politique de tarification Ramsey, qui est, somme toute, une règle de l'optimum de second rang.

Dans le cas des aéroports de moindre importance, la formule de l'établissement du prix en fonction du CSM ne permet pas de recouvrer entièrement les coûts des immobilisations, auquel cas c'est la formule Ramsey qui est la plus efficace pour récupérer le manque à gagner. Par conséquent, voici quels sont les grands principes auxquels doit obéir tout système de redevances d'atterrissage destiné à favoriser l'affectation efficiente des ressources aéroportuaires :

- Dans les grands aéroports, les redevances d'atterrissage doivent être caractérisées par un écart très net entre périodes de pointe et périodes creuses de la journée (et de l'année) pour tous les types d'avions; elles doivent, en outre, présenter des variations relativement faibles, d'un type d'avions à l'autre, pendant les périodes de pointe (pour tenir compte des différences dans les temps d'occupation de la piste), et des variations relativement marquées, d'un type d'avions à l'autre, pendant les périodes creuses (pour tenir compte des différences dans les coûts dus au bruit).
- Dans les aéroports plus petits, les redevances d'atterrissage doivent être caractérisées par d'importantes variations d'un type d'avion à l'autre, et par des variations moindres entre les périodes de pointe et les périodes creuses pour un même type d'avion.

La politique de recouvrement des coûts proposée par Transports Canada pour les aéroports jette les bases d'une méthode d'établissement de prix qui, sur un plan *conceptuel*, s'écarte des fondements de l'affectation efficiente des ressources aéroportuaires. Étant donné que la politique proposée par Transports Canada vise plus à assurer le recouvrement des coûts qu'à atteindre l'efficience, il s'ensuit que les prix doivent être fondés sur l'imputation directe des coûts variables et *fixes* aux usagers, plutôt que sur les coûts sociaux *marginaux* que les usagers des aéroports peuvent générer. Cette politique se caractérise comme suit :

- les redevances sont déterminées d'après les coûts de fonctionnement et les coûts des immobilisations particuliers à l'aéroport que doivent absorber les usagers;
- les coûts des immobilisations des pistes ne sont imputables qu'aux vols commerciaux, gouvernementaux et militaires (et non à ceux de l'aviation générale);

- les coûts de fonctionnement et d'entretien du côté piste sont appliqués à l'ensemble des usagers, sur la base de la masse maximale au décollage;
- les coûts des immobilisations et de fonctionnement des aérogares sont affectés aux compagnies aériennes, aux concessionnaires et aux passagers, sur la base de l'usage;
- des redevances de période de pointe sont imposées dans les *grands* aéroports afin de recouvrer les coûts d'immobilisations et de fonctionnement en sus de ceux qu'on enregistrerait si la demande était uniformément répartie sur toutes les heures d'exploitation d'une journée et d'une année.

Même si, dans sa conception, elle diffère des méthodes d'établissement des prix de Ramsey ou en fonction du CSM, en pratique, la structure des droits d'atterrissage recommandée dans la politique proposée par Transports Canada est semblable à la méthode de tarification en fonction du CSM et à celle de Ramsey. Pour les aéroports moins grands, la politique de recouvrement des coûts de Transports Canada ne propose pas l'application de redevances en période de pointe, mais plutôt de redevances variant d'un type d'avion à l'autre, de façon explicite, en n'imputant pas les coûts d'immobilisations des pistes à l'aviation générale, et de façon implicite, en imposant les coûts d'exploitation de l'aérodrome aux usagers sur la base de la masse maximale au décollage des avions. Cette variation des redevances d'atterrissage, par type d'avion, ressemble à la méthode d'établissement du prix de Ramsey. Dans le cas des grands aéroports, la politique de recouvrement des coûts de Transports Canada commande l'application de redevances d'atterrissage variables d'un type d'appareil à l'autre, pendant les périodes creuses, à laquelle s'ajouterait une redevance en période de pointe permettant d'imputer une partie des coûts des immobilisations aux usagers qui fréquentent les installations pendant ces périodes. À condition que la redevance en période de pointe soit appliquée à l'ensemble des usagers durant cette période, la politique que recommande Transports Canada pour les grands aéroports est semblable, sur un plan structurel, à la méthode d'établissement du prix selon le CSM.

Cette ressemblance structurelle entre la politique proposée par Transports Canada et la méthode d'établissement du prix en fonction du CSM et celle de Ramsey, permet de penser que la politique de Transports Canada sera

relativement efficace et permettra de recouvrer les coûts. Cependant, son degré d'efficacité dépendra, dans une certaine mesure, non des similitudes qualitatives, mais des similitudes quantitatives par rapport aux deux méthodes susmentionnées. Plus précisément, la politique de Transports Canada prévoit l'imposition de redevances différentes, fondées sur l'affectation des coûts des immobilisations entre les deux périodes, alors que la méthode d'établissement du prix en fonction du CSM fonde la différence entre la redevance en période de pointe et la redevance en période creuse sur la différence de coût marginal de congestion entre les deux périodes.

Il n'est pas possible, pour l'instant, d'effectuer une comparaison précise entre les redevances à exiger en période de pointe, en vertu de la méthode proposée par Transports Canada et de la méthode d'établissement du prix en fonction du CSM, en l'absence d'une formulation explicite des redevances de pointe proposées par le ministère. Quoi qu'il en soit, il est possible de se livrer à une comparaison des ordres d'importance. Il est fort probable que les différences entre les redevances exigées en période de pointe et en période creuse, suivant le modèle de Transports Canada, seront inférieures à celles découlant de la méthode d'établissement des prix en fonction du CSM, car le recouvrement des coûts obéissant à de cette dernière méthode revient à imputer la quasi-totalité des coûts des immobilisations aux usagers en période de pointe (qui produisent la majorité des coûts marginaux de congestion), alors que la politique de Transports Canada établit une répartition des coûts des immobilisations entre usagers en période de pointe et usagers en période creuse. Donc, pour ce qui est du tarif en période de pointe, la politique proposée par Transports Canada représente un moyen terme entre le système actuel d'établissement des prix, qui n'établit aucune différence selon le moment de la journée, et la méthode de tarification en période de pointe découlant de la technique d'établissement des prix en fonction du CSM.

Quoi qu'il en soit, rien ne dit que pour évaluer l'efficience relative de la politique proposée par Transports Canada il soit absolument nécessaire de déterminer dans quelle mesure elle s'approche de la méthode d'établissement du prix en fonction du CSM. Borins (1984) a simulé les effets dynamiques de différentes politiques d'établissement du prix non liées au CSM, à propos des surplus économiques dégagés à l'aéroport international Pearson, et il a constaté que la «surface de bien-être social» caractérisant la politique optimale [établissement du prix en fonction du CSM] est

relativement plate pour une gamme assez importante et que les politiques existantes se situent d'ailleurs à l'intérieur de cette gamme (. . .) la surface de bien-être s'apparente à un vaste plateau (. . .) plutôt que de ressembler, à son optimum, à un relief aiguisé comme celui du mont Cervin[51]. De façon concrète, Borins a constaté que «les écarts relatifs [par rapport au niveau de surplus économique découlant de l'établissement du prix en fonction du CSM] des politiques d'établissement de prix non optimales, sont très faibles, puisqu'ils sont systématiquement inférieurs à 1 pour cent pour le modèle de faible élasticité cité et inférieurs à 5 pour cent pour le modèle de forte élasticité.»

Ces constatations nous indiquent que la perte d'efficience des politiques de prix, en termes d'utilisation à court terme et d'opportunité de l'investissement à long terme, se situant entre la politique actuelle et la politique optimale (CSM), est relativement faible. L'essentiel, dans l'évaluation de la politique d'établissement de prix de Transports Canada, n'est pas tant de savoir dans quelle mesure elle correspond au modèle optimal d'établissement du prix CSM ou Ramsey, mais plutôt si elle constitue une amélioration par rapport à la politique actuelle et si elle va dans le sens d'une tarification optimale. La structure de prix recommandée dans la politique de Transports Canada s'approche des méthodes CSM et Ramsey, puisqu'elle vise à recouvrer les coûts d'une façon qui encourage l'affectation efficiente des ressources aéroportuaires en décourageant l'utilisation des installations congestionnées par des usagers dits «de faible valeur» pendant les heures de pointe, et en permettant l'utilisation des installations non congestionnées, et en périodes creuses, à l'ensemble des usagers.

5. Cadre favorable à une planification et à une prise de décisions efficaces

Jusqu'ici, nous avons analysé le processus de planification aéroportuaire suivant deux points de vue. Tout d'abord, selon une perspective à long terme qui consiste à prendre des décisions permettant de maximiser le rendement sur le capital investi. Deuxièmement, selon une perspective à court terme, à savoir celle de l'utilisation efficiente de la capacité existante, par l'application de régimes de prix appropriés. En théorie, cette dichotomie entre les décisions à court terme et à long terme (autrement dit les traces politiques) ne devrait pas exister mais, en pratique, force est de constater qu'elle prévaut. Les administrateurs d'aéroport sont investis de la responsabilité d'exploiter les installations existantes en fonction de certaines

politiques et lignes directrices de gestion. Ils évoluent dans le domaine des budgets de fonctionnement, et ils planifient les recettes et les dépenses, de sorte à réaliser certains objectifs financiers. À court terme, tout excès de demande est traité par l'imposition de limites ou, si possible, par l'amélioration de l'efficacité opérationnelle des installations existantes de sorte à permettre une augmentation du débit. Par contre, à long terme, on envisage des accroissements de capacité qui font appel à des dépenses d'investissement. De telles décisions sont sujettes à des lignes directrices en matière d'investissement public et sont rarement perçues comme le prolongement d'une stratégie d'exploitation aéroportuaire. En soi, elles constituent des événements discrets qui, dans le passé, avaient tendance à s'offrir en réponses aux projections de croissance à long terme et qui, plus récemment, servent de solutions aux problèmes de congestion graves.

Un modèle rationnel, fondé sur des principes économiques sains, doit prendre en compte la gestion des installations existantes et la construction de nouvelles installations, dans un cadre intégré. Bien que l'on établisse une distinction selon les horizons prévisionnels, investissement et méthode d'établissement de prix répondent aux mêmes objectifs d'affectation efficiente des ressources. La nature monolithique des investissements aéroportuaires peut, éventuellement, occasionner des problèmes dans la dérivation des fonctions de coût qui, à leur tour, risquent d'occasionner quelques difficultés dans la détermination de prix dits efficients. Cependant, en pratique, la saine application des principes de coûts-avantages, dans les décisions d'investissement, et des principes liés au coût social marginal, dans les décisions concernant l'établissement des prix, forme la base commune qui permet d'atteindre des niveaux adéquats de capacité et d'utiliser cette capacité.

Les politiques d'investissement et d'établissement de prix sont évaluées en regard de critères d'efficience économique, la politique efficiente étant celle qui maximise les avantages nets pour la société. Dans le cadre d'une politique d'établissement de prix, l'efficience économique commande qu'un aéroport fonctionne au niveau d'utilisation où les avantages sociaux d'un usage accru sont à peine dépassés par les coûts sociaux supplémentaires, notamment par les coûts dus à l'augmentation de la congestion. L'établissement du prix en fonction du coût social marginal (CSM) permet de maintenir l'utilisation et la congestion à ce niveau efficient, par le biais d'une rationalisation de l'utilisation par les usagers fondée sur leur volonté d'assumer le coût social marginal. Quand la volonté de ces usagers de

payer (demande) augmente, le niveau efficient d'utilisation et de congestion augmente et le prix correspondant au coût marginal social augmente également. Une fois que la congestion atteint un niveau critique, les économies de coût de congestion pouvant être réalisées par l'accroissement de la capacité, dépassent les coûts des immobilisations et les autres coûts sociaux associés à l'accroissement des capacités. L'augmentation de capacité est alors justifiée, car elle donne lieu à des avantages sociaux nets positifs. Comme elle permet de contrôler la croissance de la congestion, la politique d'établissement de prix a une incidence sur l'opportunité de l'investissement. Dès lors, une politique d'établissement de prix qui s'écarterait du coût social marginal déboucherait non seulement sur une utilisation inefficiente de la capacité fixe, mais également sur le choix d'un moment inopportun pour entamer des travaux d'accroissement de la capacité.

S'il est nécessaire de recouvrer les coûts, les politiques d'établissement de prix ont non seulement un effet sur le choix du moment de l'investissement mais elles rapportent également les recettes nécessaires au financement de cet investissement. L'établissement du prix en fonction du coût social marginal, parce qu'il permet de recouvrer les coûts liés à la congestion (et non les coûts des immobilisations), ne permet pas nécessairement de recouvrer les coûts des immobilisations pendant la période d'accroissement de la capacité. Cependant, dans le cas des grands aéroports canadiens, toute insuffisance de recettes découlant d'un prix établi en fonction du CSM, a toutes les chances d'être relativement faible et, dans certains cas, on pourrait même retirer des excédents de revenus.

Pour réaliser le recouvrement des coûts, la solution de remplacement à celle du prix établi en fonction du CSM, consiste à affecter les coûts des immobilisations (et de fonctionnement) aux usagers. La politique de recouvrement de coûts de Transports Canada prévoit que les redevances à l'atterrissage varient d'un type d'avion à l'autre, selon la masse maximale au décollage, plutôt que selon le temps passé sur la piste et la congestion produite. L'établissement du prix calculé à partir des coûts des immobilisations risque d'être inefficient car les prix n'augmentent pas nécessairement quand la congestion augmente, contrairement à ce qui se passe dans le cas des prix établis en fonction du CSM, si bien que les usagers n'ont aucune indication de la pénurie relative de capacité. Cependant, la perte relative de bien-être social, associée à ces inefficiences, serait faible dans le cas des grands aéroports. L'argument favorable à l'établissement du prix

en fonction du coût des immobilisations se trouve renforcé quand on exige des redevances différentes en période de pointe et en période creuse, à partir d'une proportion estimée des coûts des immobilisations découlant d'une utilisation en période de pointe. Une telle différence entre les redevances en période de pointe et en période creuse, remplit la même fonction que celle du prix établi selon le CSM, puisqu'elle permet de décaler les usagers dits de «faible valeur» des périodes de pointe aux périodes creuses afin de permettre une utilisation pus efficiente de la capacité et de reculer l'échéance des travaux d'agrandissement. En règle générale, les programmes de recouvrement de coûts proposés s'accompagnent d'un cadre pratique qui devrait déboucher sur l'adoption de méthodes d'établissement de prix relativement efficientes dans les aéroports canadiens.

Pour ce qui est de la politique d'investissement, l'efficience économique veut que l'on établisse la comparaison entre les coûts et les avantages sociaux des options possibles d'accroissement de la capacité. L'instrument dont on dispose à cette fin est l'analyse coûts-avantages (ACA). L'ACA est synonyme de certaines difficultés techniques, comme la nécessité d'évaluer les courbes de demande afin de parvenir à une estimation adéquate des avantages et des coûts de bien-être, ainsi que la nécessité de choisir un taux d'actualisation social afin de comparer les avantages et les coûts que l'on obtient en différents moments. L'emploi de l'ACA en tant qu'outil d'évaluation soulève un certain nombre de questions auxquelles il convient de s'arrêter dans le contexte de la planification aéroportuaire.

Tout d'abord, il faut s'arrêter au choix du moment pour effectuer les études coûts-avantages de même qu'aux investissements réels. Les études de Vancouver et de Toronto révèlent que les accroissements de capacité de piste auraient dû intervenir plus tôt. On aurait dû détecter plus tôt la congestion importante qui a entraîné des coûts importants pour les usagers de l'aéroport. Tant que l'on retarde les projets d'investissement jusqu'à ce que la congestion en arrive à un niveau intolérable (voire détectable), les remèdes appropriés interviendront toujours trop tard. Et ce problème est exacerbé par les longs délais nécessaires à la planification de la nouvelle capacité et par le fait que les coûts de congestion augmentent de façon exponentielle alors que l'utilisation de la capacité tend vers la capacité physique maximale.

Les coûts élevés associés au retard d'investissement ressortent clairement dans les constats de l'étude de Pearson qui a établi que les avantages de première année pour les deux nouvelles pistes, qui seront terminées en 1996, équivaudront à 140 millions de dollars, comparativement au coût total des immobilisations de 469 millions de dollars[52]. Si l'on suppose un taux social actualisé de 10 pour cent en dollars actuels de 1990 les avantages de la première année se chiffrent à 79 millions de dollars et les coûts des immobilisations à 327 millions de dollars. Le coût dû au retard du projet d'accroissement de la piste à Pearson avoisine donc les 46 millions de dollars par an. Ce chiffre représente les économies de coût dus aux retards non réalisées an reportant d'une année l'accroissement de la capacité des pistes (79 millions de dollars), moins les coûts d'opportunité des immobilisations (frais d'intérêt) économisés de la sorte (32,7 millions de dollars).

Le «rapport d'avantages de première année» nous donne une idée plus générale de l'importance du retard d'un projet, puisqu'il établit le rapport entre les avantages de première année et les coûts totaux des immobilisations. Si un projet est en retard, les avantages de première année dépassent les coûts d'opportunité des immobilisations (taux d'actualisation multiplié par les coûts totaux des immobilisations), et, par conséquent, le rapport d'avantages de première année est supérieur au taux d'actualisation. Par contre, on sait qu'un projet a été entrepris au moment optimal quand le rapport d'avantages de première année est égal au taux d'actualisation et on sait aussi qu'un projet a été commencé trop tôt quand le rapport d'avantages de première année est inférieur au taux d'actualisation. Dans le cas du projet d'accroissement de la capacité à Pearson, l'avantage de première année est égal à 79 ÷ 327, soit à 24 pour cent. Comme le rendement de 24 pour cent sur le capital produit par l'accroissement de capacité dans la première année d'exploitation de la piste est supérieur aux 10 pour cent de rendement sur le capital supposés pour une autre utilisation, le report du projet donnerait lieu à une diminution de la valeur nette actualisée de ce dernier. On peut donc considérer que le projet aurait dû débuter plus tôt. Par rapport à Pearson, le projet d'accroissement de piste à Vancouver serait encore plus en retard puisque le rapport d'avantages de première année serait de 82 pour cent pour l'option de piste recommandée[53].

La seconde difficulté qui découle de l'application des principes de coûts-avantages aux investissements aéroportuaires tient à la gamme des options

d'investissement prises en compte dans ce genre d'étude. Ainsi, dans le cas de Toronto, les décisions d'investissement ont été analysées dans le contexte d'un réseau aéroportuaire régional. Comme il est toujours possible de détourner une partie du trafic vers d'autres aéroports (par exemple vers Hamilton, Toronto Island ou Buttonville), et que la construction d'un second aéroport indépendant est toujours envisageable, il est difficile d'évaluer les investissements à Pearson sans tenir compte des autres éléments du réseau aéroportuaire. L'étude coûts-avantages a permis de s'affranchir temporairement de cette difficulté, puisqu'on y soutient que les options d'aménagement des pistes constituent des solutions à moyen terme qui ne peuvent absolument pas être remplacées par le détournement d'une partie du trafic vers d'autres aéroports ou par sa relocalisation. Bien qu'on puisse y voir là un argument raisonnable, il limite de façon superficielle l'horizon prévisionnel en fonction duquel les options de développement des pistes à moyen terme sont évaluées.

Dans le cas de Pearson, les avantages et les coûts des options envisagées n'ont été évalués que pour une période de 15 ans, après l'année de mise en service. Même si, dans ce cas, la nécessité d'un accroissement de capacité était suffisante pour justifier une analyse selon un horizon prévisionnel de 15 ans, il s'agit en général d'une période beaucoup trop courte pour véritablement évaluer la viabilité économique des options d'investissement aéroportuaire. Une approche plus systématique, permettant d'intégrer l'évaluation des options d'investissement aéroportuaire à moyen et à long terme, s'impose donc. Dans le cas de l'étude de Vancouver, on a retenu un horizon prévisionnel de 30 ans et l'on a envisagé l'aménagement d'aéroports secondaires en tant qu'option. Cependant, les proportions des différents types de trafic susceptibles d'être détournés vers ces aéroports secondaires, bien que partiellement fondées sur les différences d'accès sur les plans du temps et des coûts, ont été beaucoup plus supposées que prévues par le biais d'un modèle de réseau de plusieurs aéroports[54].

Le troisième problème qui complique l'application des analyses coûts-avantages dans le cas des grands aéroports, tient à l'incertitude associée aux prévisions des avantages et des coûts. Comme nous l'avons vu plus tôt dans ce rapport, il est arrivé que les prévisions officielles en matière de trafic aérien ne se soient pas matérialisées, ce qui a supprimé du même coup la nécessité d'accroître la capacité des aéroports ou qui a mis en relief certains excès (comme dans le cas de Mirabel). La prévision demeurera toujours l'art de l'incertitude. La seule solution pratique consiste à évaluer les options d'investissement en fonction de différents scénarios de croissance et d'envisager des horizons prévisionnels de substitution pour chacune de ces options d'investissement. Une telle analyse de sensibilité constitue un moyen efficace pour s'affranchir des incertitudes inhérentes aux paramètres fondamentaux et affecter un certain niveau de confiance aux résultats, quand la variation de ces paramètres, dans des limites raisonnables, ne modifie pas le classement des options. Les analyses de sensibilité permettent également de faire ressortir toutes les situations de demande importante et tous les autres paramètres susceptibles d'avoir une incidence marquée sur les résultats, si on les laissait dépasser certaines limites critiques. Les décisionnaires ou les experts peuvent alors évaluer la probabilité que ces paramètres sensibles sortent du cadre critique.

Une des sources d'incertitude avec laquelle il est difficile de composer tient aux retards dus à la congestion dans différentes situations de trafic et pour différentes options de capacité. Ce genre d'incertitude ne découle pas uniquement des caractéristiques inconnues des retards liées à l'infrastructure agrandie et au volume de trafic prévu, mais également d'un manque de connaissance des retards réels enregistrés en fonction de la capacité du moment et pour les niveaux actuels de demande. Les études aux aéroports de Pearson et de Vancouver se sont toutes deux heurtées au problème du manque de données historiques sur les retards dus à la congestion. Dans les deux cas, on a eu recours à des modèles de simulation discrète (avion par avion) des mouvements sur la piste, afin d'estimer les retards, non seulement pour les options d'accroissement de la qualité, mais également pour les options correspondant au scénario de base (capacité existante). Dans la mesure où les prévisions de retard sont uniquement fondées sur les prédictions des modèles de simulation, on ne peut s'affranchir d'une importante incertitude. Il serait pourtant possible de parvenir à des prévisions de retard plus précises, si l'on disposait de données fiables sur les retards réels, afin de vérifier la validité des prédictions des modèles de simulation.

La plupart des problèmes associés aux analyses coûts-avantages des aéroports pourraient être en partie réglés si l'on avait recours à un cadre permettant un contrôle continu des coûts et des avantages. Un tel système de contrôle des coûts et des avantages sociaux devrait répondre aux critères suivants :

- Fournir les données nécessaires pour effectuer des études coûts-avantages en temps opportun et pour favoriser une augmentation du niveau de confiance associé aux prévisions de l'étude, et fournir une base pour un modèle de planification aéroportuaire pouvant englober un réseau composé de plusieurs aéroports.
- Prendre en compte les incidents d'externalités et les autres aspects liés à la répartition. Il devrait être possible de comparer les coûts et les avantages des usagers aux incidences externes, comme les coûts dus au bruit sur le voisinage ou les retombées bénéfiques pour les localités. Ce système pourrait servir à diffuser l'information auprès du public et à faciliter le dialogue entre personnes de points de vue divergents. Il pourrait se révéler être un moyen de médiation entre personnes ayant des intérêts conflictuels, ou du moins constituer une base de compromis.
- Être utile dans la prise de décisions concernant l'établissement des prix, grâce aux données nécessaires à l'examen de l'efficience et des incidences, sur le plan des recettes, des différents régimes d'établissement de prix. Les données sur les coûts sociaux de l'exploitation des aéroports pourraient également servir à quantifier les externalités, comme le bruit, afin de jeter les bases de régimes fiscaux et d'indemnités.

En conclusion, et du point de vue de l'économiste, nous estimons que le processus de planification revient à une analyse coûts-avantages suivie et exhaustive. Nous estimons qu'une telle analyse fournit non seulement un «instrument technocratique» permettant d'évaluer les investissements, mais également un cadre efficace permettant de contrôler et de quantifier les incidences externes, de réaliser un compromis politique entre groupes d'intérêt différents et d'imaginer des mécanismes d'indemnisation adaptés afin que toutes les parties intéressées en retirent quelque chose. Les nouvelles procédures d'examen et d'évaluation environnementales ont nécessité la tenue d'analyses coûts-avantages rigoureuse dans l'évaluation des grands projets, comme ceux des aéroports internationaux de Toronto et de Vancouver. Nous proposons que la portée de ces études coûts-avantages

soit élargie, afin qu'elles constituent un cadre au contrôle continu des coûts et des avantages particuliers à l'exploitation aéroportuaire, ce qui, nous le croyons, devrait constituer la base nécessaire à une prise de décisions plus rationnelle, en ce qui concerne l'efficience économique du réseau aéroportuaire.

NOTES

1. Voir S. Borins, «Organization with Environment : A Review of Walter Stewart's *Paper Juggernaut,*» *Analyse de politiques* 6,1 Hiver 1980, pp. 115-123; et S. Borins, «Self-Regulation and the Canadian Air Transportation Administration : The Case of Pickering Airport,» dans W.T. Stanbury (Édit.), *Studies on Regulation in Canada*, Montréal, Institut de recherches politiques, 1978, pp. 131-151.

2. Voir Transports Canada, Groupe de gestion des aéroports, *Notre première année : 15 octobre 1985 au 15 octobre 1986*, Ottawa, Approvisionnements et Services Canada.

3. Geoffrey Rowan, «Community airports head for fast lane,» *The Globe and Mail*, 2 octobre 1991, pp. B1 et B6.

4. Transports Canada, Équipe du projet d'accroissement de la capacité des pistes, *Vancouver International Airport, Airside Capacity Enhancement Project, Airside Demand/Capacity Analysis*, juin 1989.

5. Transports Canada, *Nouvelle politique proposée pour le recouvrement des coûts : Document de travail de la Phase II*, TP10041, avril 1990.

6. Transports Canada, Groupe des Aéroports, *Cadre du plan d'affaires, 1991-1992/1993-1994.*

7. Pour se faire une meilleure idée du caractère indivisible de la capacité d'un aéroport, voir T.H. Oum et Y. Zhang, «Airport Pricing : Congestion Tolls, Lumpy Investment, and Cost Recovery,» *Journal of Public Economics*, 43, 1990, pp. 353-374.

8. Ce dernier cas s'applique, par exemple, à l'évaluation d'externalités comme le bruit, qui ne sont pas sujettes aux droits de propriété, et pour lesquelles on n'a donc pas un prix marchand établi. Par contre, on retient le prix à payer en contrepartie de coûts ou d'avantages, si un tel prix existe, parce qu'il illustre le maximum que les particuliers sont disposés à payer quand il y a un marché.

9. Ce principe a d'abord été introduit par Nicholas Kaldor dans «Welfare Propositions of Economics and Interpersonal Comparisons of Utility,» *Economic Journal 49*, 1939. Le principe de la compensation est une version moins stricte du principe de Pareto qui exige que toute politique avantage au moins une personne et ne dérange personne, même s'il n'y a pas de compensation.

10. Les objectifs d'équité de la politique canadienne en matière de transport sont énoncés dans *En marche : le rapport intérimaire de la Commission royale sur le transport des voyageurs au Canada*, Ottawa, Approvisionnements et Services Canada, avril 1991, p. 255.

11. Pour se faire une meilleure idée des méthodes d'application des pondérations de répartition au critère d'évaluation, voir W.G. Waters, II «Investment Criteria and the Expansion of Major Airports in Canada,» *Analyse de politiques* 3, 1977, pp. 23-35.

12. Voir, par exemple, Transports Canada : *Toronto Lester B. Pearson International Airport Airside Development Project, Final Report No 24, Benefit/Cost Analysis,* TP10854E, avril 1991, rapport préparé par Transmode Consultants Inc. et Hickling Corporation, *Economic Analysis of Airfield Capacity Enhancement Strategies for Vancouver International Airport*, 1990.

13. Par VAN nous entendons, dans tous les cas, la valeur actuelle nette dans l'année en cours, sans égard à la date de début envisagée. Tout retard de la date de début d'une option augmente la VAN correspondante si les économies réalisées au titre des taux d'intérêt non versés, sur le capital d'agrandissement, sont supérieures aux avantages nets non réalisés des travaux d'agrandissement.

14. Voir Oum et Zhang, 1990.

15. S'il faut évaluer le projet d'accroissement de la capacité à partir d'une vie économique finie, fixée à *n* années, plutôt que d'une date correspondant à un horizon prévisionnel fini ou à un horizon prévisionnel infini, tout retard d'une année dans l'exécution du projet d'expansion s'accompagne d'un avantage additionnel : l'avantage net dans l'année *n+1*. Nous avons, ici, retenu l'avantage de l'année *n+1*, uniquement pour simplifier l'exposé, car cet avantage correspond tout à fait à ce qu'on peut lire dans la documentation (par exemple, Oum et Zhang (1990), op. cit., utilisent un horizon provisionnel infini). Dans les cas où il est justifié d'envisager un avantage correspondant à l'année *n+1*, l'application de la formule présentée ci-après donne lieu à une sous-estimation des avantages liés au retard de mise en oeuvre du projet et, dès lors, à un accroissement de la capacité qui est moins qu'optimale. Comme l'avantage de l'année *n+1* est normalement largement actualisé, il y a toutes les chances pour que l'importance de la sous-estimation soit faible. On peut avoir recours à des méthodes de simulation pour déterminer le moment le plus opportun.

16. En supposant que l'augmentation des économies réalisées sur les coûts de congestion finit par être supérieure à l'augmentation des coûts correspondant aux externalités (bruit).

17. S.A. Marglin tient un raisonnement à propos de ce critère dans *Approaches to Dynamic Investment Planning,* Amsterdam, North Holland, 1963, de même que S.F. Borins, dans «The Effect of Pricing Policy on the Optimal Timing of Investments in Transportation Facilities,» *Journal of Transportation Economics and Policy 15,* 1981, pp. 121-133.

18. Si l'option d'expansion exige une période de gestation de la construction avant que les avantages ne soient réalisés, alors K correspond au coût des immobilisations, composé par *r* sur la période de gestation.

19. Dans le dernier cas, la période de report optimale est la plus longue période durant laquelle le taux moyen d'augmentation de l'avantage net annuel est supérieur au taux d'actualisation. Voir E.J. Mishan, *Cost-Benefit Analysis,* Londres, George Allen et Unwin, 1982, p. 269.

20. Transports Canada, *Toronto Airside Development Project,* 1991, et Hickling Corporation, *Economic Analysis of Airfield Capacity Enhancement Strategies for Vancouver International Airport,* 1990.

21. Si l'on évalue une seule option d'accroissement de capacité, si les avantages augmentent de façon monotone dans le temps, et si l'on adopte un horizon de planification à long terme, alors l'application d'une date de réalisation optimale est non seulement nécessaire, mais elle est suffisante pour recommander l'exécution des travaux. Si la seule option correspond au moment opportun, de sorte que les avantages de la première année soient supérieurs à rK, alors la valeur actuelle des avantages réalisés n'importe quand dans l'avenir sont supérieurs à K (puisque la valeur actuelle de la perpétuité de rK est $1 + r \cdot rK = K$) et donc l'option présente automatiquement une valeur nette actuelle positive, et l'on peut en recommander la mise en oeuvre sans avoir à en calculer, de façon explicite, la VAN. Donc, sur un plan conceptuel, c'est la règle du moment opportun qui constitue la fondation de

toute évaluation d'investissement, l'analyse de la VAN étant nécessaire dans des cas plus généraux où l'on doit évaluer plus d'une option d'investissement.

22. Hickling Corporation, *Economic Analysis of Airfield Capacity Enhancement Strategies for Vancouver International Airport*, 1990.

23. Transports Canada, Équipe du projet d'accroissement de la capacité des pistes (ACE), *Vancouver International Airport, Airside Capacity Enhancement Project, Airside Demand/Capacity Analysis*, juin 1989.

24. Hickling Corporation, *Economic Analysis of Airfield Capacity Enhancement Strategies for Vancouver International Airport*, 1990, p. 8.

25. Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales, *Aéroport international de Vancouver — Projet de piste parallèle : Rapport de la Commission d'évaluation environnementale*, 1991, p. 40. La Commission a également souligné que l'inclusion des coûts des terrains n'aurait pas modifié les résultats de l'étude.

26. Transports Canada, *Vancouver International Airport, Airside Capacity Enhancement Project*, 1989, pp. 3-1 et 3-3.

27. Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales, *Vancouver Inernational Airport*, 1991, p. 41.

28. Outre ce rapport élevé avantages-coûts, le taux de rendement interne de l'option recommandée était également élevé puisqu'il s'établissait à 114 pour cent.

29. Hickling Corporation, *Economic Analysis of Airfield Capacity Enhancement Strategies for Vancouver International Airport*, 1990. Il convient de remarquer que la confiance accordée à ce genre d'énoncé dépend de la précision de la répartition des probabilités subjective établie pour les hypothèses sous-jacentes. L'analyse des risques, du genre de celle effectuée dans le cadre de l'étude, ne supprime pas les incertitudes : elle en règle une pour en créer une autre.

30. On a prévu que, dans la première année suivant la mise en service de la piste (1993), le retard moyen au décollage serait de deux minutes, ce qu'on a estimé suffisant pour générer d'autres avantages que ceux découlant de la tarification en période de pointe. Hickling Corporation, *Economic Analysis of Airfield Capacity Enhancement Strategies for Vancouver International Airport*, 1990, pp. 112 et 116.

31. Ibid.

32. L'RAPA de 82 pour cent signifie que le coût annuel attribuable au retard de mise en oeuvre des travaux d'accroissement de capacité de la piste, pour une redevance appliquée en période de pointe de 100 $, est d'environ 44 millions de dollars.

33. Transports Canada, *Toronto Airside Development Project*, 1991.

34. Transports Canada, *Economic Impact of Alternative Traffic Management Options for Lester B. Pearson International Airport TP10668E*, March 1991, rapport préparé par Hickling Corporation.

35. L'estimation des avantages était encore plus prudente, puisque, dans le calcul des avantages pour les usagers induits, on n'a tenu compte que des avantages découlant de l'utilisation de l'aéroport, par rapport à une non-utilisation, et non des avantages d'une fréquentation aux heures de pointe par rapport aux heures creuses.

36. Il n'est pas ici question d'une évaluation de l'efficacité de l'affectation administrative par rapport à la méthode d'établissement d'un prix destiné à décourager la congestion.

37. Transports Canada, *Modèle d'analyse coûts-avantages des systèmes d'approche d'aéroport*, TP6887F, septembre 1986.

38. Dans l'analyse, on a supposé que la courbe de demande était fixe et que, dès lors, elle s'appliquait à chaque période où la demande est relativement constante.

39. Pour les fins de la présente analyse, l'hypothèse que nous avons retenue ne tient pas compte des retombées macro-économiques liées à l'exploitation d'un aéroport.

40. CM1 correspond au temps-passagers et aux coûts d'exploitation liés à l'utilisation d'un aéroport, pour un avion moyen, et reflète l'hypothèse voulant que la diversité des types d'avions demeure la même à tous les niveaux d'utilisation.

41. En général, le mot «créneau» qualifie le droit de décoller ou d'atterrir (mais non les deux) une fois au cours d'une heure et d'un jour précis, en saison d'hiver ou d'été. S.G. Hamzawi, «Methods to Relieve Airport Congestion,» *Proceedings of the Canadian Transportation Research Forum*, 1988.

42. W. Gillen, T.H. Oum et M.W. Tretheway, «L'établissement des prix aux aéroports et l'accroissement de la capacité : évaluation économique des solutions de rechange», *Le transport au Canada*, Ottawa, Transports Canada, TP 10451-F, 1990, p. 91.

43. Prenons, par exemple, le cas d'un aéroport desservi par deux compagnies aériennes qui seraient identiques sur les plans de la configuration d'exploitation, des coûts et de demande de passagers. Supposons en outre que le directeur de l'aéroport décide de contingenter le trafic en période de pointe et qu'il informe les deux compagnies aériennes qu'elles ne pourront plus, désormais, utiliser l'aéroport tant qu'elles n'auront pas arrêté un horaire conforme aux quotas établis. Il y a fort à parier qu'elles s'entendront pour se partager le quota, moitié-moitié, de sorte à pouvoir ventiler ensuite elles-mêmes les vols les intéressant le plus dans les créneaux qui leur reviennent. On en arrive dès lors à un système efficace d'affectation des quotas. En théorie des jeux, ce genre d'accord est appelé équilibre focal.

44. Le prix de rajustement du marché est égal à la valeur accordée par les usagers marginaux, diminuée de leur CMP. Donc, si l'on suppose que l'autorité aéroportuaire connaît la courbe CMP, on peut ajouter le CMP au prix afin d'obtenir la valeur marginale.

45. Nous supposons ici que l'autorité aéroportuaire connaît la courbe CSM et que la courbe de demande est constante.

46. L'algorithme proposé ici se veut une illustration de l'utilisation des prix du marché en tant que guide à l'établissement du quota. Bien que celui-ci ne converge pas nécessairement (voir le redressement de la courbe de demande de la figure 5), il est possible de concevoir d'autres algorithmes qui, à partir des mêmes données de prix, convergeraient effectivement.

47. La pratique de l'établissement du prix en fonction du «coût marginal à long terme» — autrement dit, le fait d'amener les usagers à couvrir à la fois les coûts «marginaux» des immobilisations et les coûts marginaux d'exploitation de l'aéroport, les coûts dus au bruit, ainsi que (selon la formulation) les coûts marginaux de congestion — n'est pas efficace. Comme Gillen, Oum et Tretheway, 1990, le font remarquer, «l'investissement dans les pistes et terminaux est irrégulier, la courbe du coût marginal à long terme ne peut avoir toujours la même tendance. La courbe du coût marginal à long terme est plutôt l'ensemble des courbes du coût marginal à court terme.» Par conséquent, une politique prévoyant l'imputation des coûts d'immobilisations aux usagers n'est pas nécessairement efficiente. Par contre, une politique efficiente impose aux usagers le recouvrement du coût marginal social à court terme qui correspond au niveau de trafic du moment. Cela nécessite «l'imposition de prix plus élevés (en raison de l'accroisement de l'encombrement) avant tout investissement dans la capacité et la diminution des tarifs une fois que la capacité est en place». L'application de droits qui varient dans le temps, selon le niveau de congestion, est indicative de l'abondance ou de la pénurie relatives de capacité, pour les usagers, et cette formule est beaucoup plus efficiente que l'imposition de droits destinés à favoriser la répartition, entre tous les usagers, de l'ensemble des coûts d'immobilisations qui demeurent constants dans le temps. Voir Gillen, Oum et Tretheway, 1990, p. 97.

48. Nous avons fait fi de la possibilité d'appliquer des redevances en fonction du coût marginal dû au bruit pour recouvrer les coûts d'immobilisations, par simple souci de simplicité, mais aussi parce qu'elles seront peut-être nécessaires au titre d'éventuels régimes d'indemnisation des ménages à cause des perturbations occasionnées par le bruit.

49. H. Mohring et M. Harwitz, *Highway benefits : An Analytical Framework*, Northwestern University Press, 1962, pp. 84-86, et H. Mohring, «The Peak Load Problem with Increasing Returns and Pricing Constraints,» *American Economic Review* 60, 1970, pp. 693-705.

50. Le moment optimum pour entamer l'accroissement de la capacité est lui-même déterminé par le niveau de la demande de trafic, mais non par le rythme de croissance. Voir Oum et Zhang, 1990, pp. 353-374.

51. F. Borins, «The Economic Effects of Non-optimal Pricing and Investment Policies for Substitutable Transport Facilities», *Revue canadienne d'Économique* 17, 1984, pp. 80-97.

52. Transports Canada, *Benefit-Cost Analysis of Airside Development at Lester B. Pearson International Airport*, 1991, pp. 36 et 61.

53. Hickling Corporation, *Economic Analysis of Airfield Capacity Enhancement Strategies for Vancouver International Airport*, 1990, p. 174. Hickling définit le rapport d'avantages de première année comme étant le rapport de tous les avantages de la première année suivant la mise en service aux coûts totaux accumulés à cette date, notamment les frais d'intérêt (p. 172). Cette définition équivaut au rapport de l'avantage de première année, en valeur actualisée, aux coûts des immobilisations en valeur actualisée, qui est la formule que nous présentons. Le rapport d'avantages de première année, qui est une expression de l'opportunité du projet, ne doit pas être confondue avec le taux de rendement internalisé (taux d'actualisation auquel la VAN est égale à zéro), qui est l'expression du taux de rendement d'un projet sur la totalité de sa vie économique et, par conséquent, de la valeur même de ce projet.

54. Ibid., pp. 54, 63 et 91.

19

LA DEMANDE DE TRANSPORT DES VOYAGEURS : ÉTUDE DES MODÈLES INTERURBAINS DE RÉPARTITION MODALE AU CANADA ET AILLEURS

Eric J. Miller et Kai-Sheng Fan*
Décembre 1991

1. INTRODUCTION

1.1. OBJET DE L'ÉTUDE

Cette étude se veut un bilan de l'évolution de l'état de la question depuis ces 20 dernières années, quant à la modèlisation de la demande de transport interurbain, au Canada et ailleurs dans le monde, lorsqu'il est pertinent pour le contexte canadien. En particulier, cette étude résume les connaissances acquises au cours des travaux de modèlisation traitant du transport canadien interurbain en général et de la substitution intermodale en particulier.

Etant donné l'ampleur accordée à la substitution modale, cette étude se concentre sur les composantes du choix modal dans le processus de modélisation de la demande de transport. Les composantes de génération et de distribution sont étudiées au besoin, mais cet aspect du processus de modélisation n'est toutefois pas analysé en détail. En particulier, la question de l'induction de nouveaux déplacements due à l'apport d'améliorations dans un ou plusieurs modes n'est pas examinée de manière très détaillée.

* Département de Génie Civil, Université de Toronto.

Nous ne cherchons pas dans cette étude à évaluer la précision relative des modèles de demande de transport des voyageurs interurbain, developpés et appliqués au cours des ans. Dans cette étude nous nous proposons plutôt d'évaluer, à partir des connaissances acquises avec ces modèles, ce qui peut être utilisé afin de mieux comprendre et prévoir la demande de transport interurbain canadienne. Ainsi, l'étude ne s'attarde pas à l'analyse des prévisions réelles générées par ces modèles mais s'intéresse plutôt aux élasticités, aux valeurs du temps et autres indicateurs fondamentaux du comportement du voyageur, lesquels peuvent être obtenus dans ces modèles. Se faisant, la revue traite forcément des aspects méthodologiques associés à la spécification, à l'éstimation et à l'application de ces modèles, les résultats empiriques (élasticités, etc.) obtenus dans ces modèles ne peuvent être évalués que dans le contexte théorique et méthodologique dans lequel ils ont été obtenus.

Le principal sujet d'intérêt de cette étude réside nécessairement dans les modèles interurbains canadiens de répartition modale. Tout modèle canadien (multimodal)[1] pertinent traité dans les ouvrages est analysé dans ce rapport. Les modèles américains qui semblent être représentatifs de l'état de la question du point de vue pratique et s'avérant intéressant pour le contexte canadien sont aussi examinés en détail. Les modèles non nord-américains ne sont généralement pas étudiés en détail, dû au manque de transférabilité dans le contexte nord-américain et/ou à un manque d'information détaillé concernant la forme fonctionnelle du modèle, des hypothèses, etc.

Les contraintes de temps et de ressources et surtout l'impossibilité d'acquérir les ensembles de données originales de ces modèles ont empêché toute nouvelle analyse dans cette étude. Etant donné la complexité et la nature non constante des élasticités associées à chaque modèle étudié dans ce rapport, celui-ci ne contient que des élasticités empiriques provenant de la documentation qui accompagne les différents modèles. En effet, compte tenu de la forme fonctionnelle des modèles, l'information nécessaire à l'estimation de nouvelles élasticités était rarement disponible.

1.2 ORGANISATION DU RAPPORT

Dans la partie 2 de ce rapport, nous traitons de quelques points particulièrement importants pour évaluer l'état de la question en ce qui concerne la

demande de transport interurbain. On y aborde notamment de manière assez détaillée la question fondamentale du choix du niveau d'agrégation modale. Motivé principalement par le débat sur la question de l'agrégation, un examen de modèles interurbains de choix modal spécifiques est présenté dans deux parties. La partie 3 traite de la recherche dans le domaine des modèles agrégés tandis que la partie 4 traite des modèles désagrégés (modèles plus récents). Dans la partie 5, nous résumons les résultats de cet examen détaillé par rapport aux résultats empiriques, questions méthodologiques et orientations pour d'éventuelles recherches additionnelles.

2. DISCUSSION DES PROBLÈMES

2.1 INTRODUCTION

Cette partie traite des différents facteurs qui ont un impact direct sur les résultats obtenus à partir des modèles de demande de transport interurbain des voyageurs et qui doivent donc être pris en considération dans toute évaluation ou discussion sur ces modèles. Ces facteurs sont les suivants :

- Niveau d'agrégation spatiale et transférabilité des modèles;
- Définition du marché de transport des voyageurs; et
- Spécification du modèle.

2.2 NIVEAU D'AGRÉGATION

Les modèles de demande de transport des voyageurs sont habituellement développés à l'un ou l'autre des deux niveaux d'*agrégation spatiale* suivants :

- Le niveau *agrégé*, dans lequel le nombre total de déplacements (par mode) entre les zones sont modélisés directement; et
- Le niveau *désagrégé*, dans lequel les déplacements des individus sont modélisés directement (et l'agrégation des flots par origine-destination requise pour l'analyse des politiques de transport est généré en additionnant, de manière explicite ou implicite, tous les déplacements effectués entre les zones par ces mêmes individus).

Bien que les modèles plus récents (par exemple, des cinq à dix dernières années) soient au moins partiellement désagrégés, la grande majorité des modèles interurbains de transport des voyageurs sont de type agrégés. Les modèles agrégés possèdent plusieurs avantages pratiques. Notamment, leurs besoins en données sont généralement plus modestes comparativement aux modèles désagrégés et plus conforme à l'information qui s'avère souvent disponible pour la construction de modèles. De plus, ces modèles sont généralement plus facilement applicables car ils sont dévéloppés directement au niveau politico-décisionnel d'intérêt; c'est à dire le niveau où sont analysés les déplacements de ville à ville.

Nous pouvons toutefois critiquer certaines des caractéristiques propres aux modèles agrégés[2]. La plus notable est le fait que ces modèles agrégés courent le risque d'inclure, de manière inhérente, un montant inconnu de biais d'agrégation. La figure 2.1(a) illustre le concept du biais d'agrégation. Dans cette figure, nous supposons une courbe de demande hypothétique. La nature précise de cette courbe n'est pas d'une importance capitale, exception faite de sa non-linéarité (certainement pas une hypothèse déraisonnable). Cette courbe de demande traduit la relation entre, d'une part, la probabilité qu'un individu choisisse un certain mode et, d'autre part, le revenu de ce même individu, lorsque tous les autres facteurs qui influencent le choix du mode (niveaux de service, motif de déplacement, etc.) sont supposés constants. Deux individus, 1 et 1', ayant des niveaux de revenus très différents sont représentés (I_1 et $I_{1'}$), ainsi que leur probabilité de choix modal (P_1 et $P_{1'}$). Dans cette figure on montre aussi le revenu moyen pour ces deux individus (I) ainsi que leur probabilité moyenne de choix (P). Les faits à noter dans cette figure incluent les points suivants :

- Un modèle désagrégé essayerait de reproduire la courbe de demande montrée dans la figure 2.1(a), en reliant statistiquement la réponse observée de chaque voyageur individuel aux caractéristiques propres de ce même individu[3]. Ce type de modèle contiendra inévitablement certaines erreurs dues à l'utilisation des formes fonctionnelles «approximatives», l'omission ou l'erreur de mesure des variables explicatives, etc. Mais les paramètres du modèle ne seront pas nécessairement biaisés de manière inhérente si le modèle est conçu correctement.

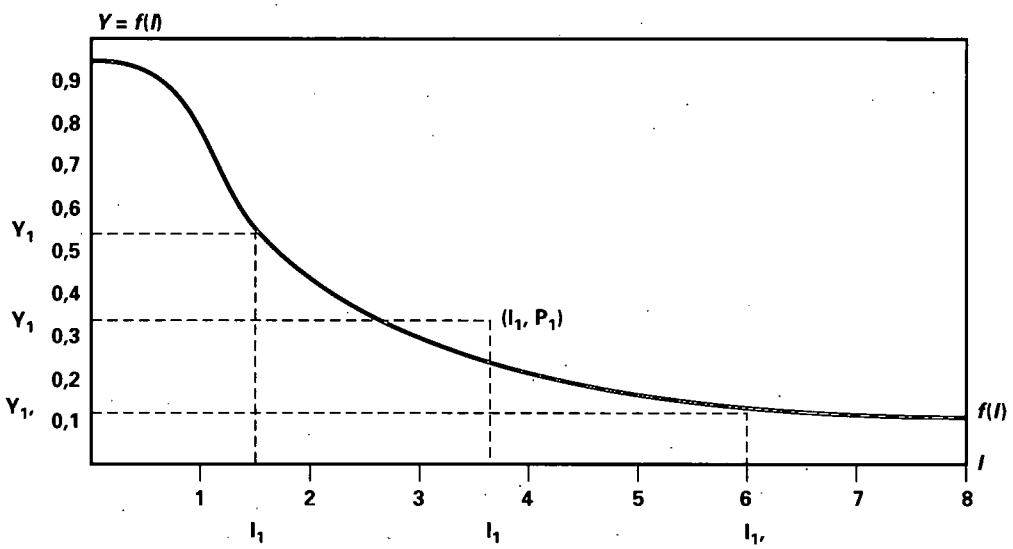
- Un modèle agrégé, quant à lui, sera développé en reliant, de manière statistique, la réponse *moyenne* observée pour un ensemble agrégé de voyageurs à la *moyenne* des caractéristiques de ces mêmes voyageurs; soit le point {I,P}, combiné à d'autres points comparables, caractérisant d'autres groupes, c'est à dire valeurs moyennes pour d'autres zones ou paires de zones, selon le cas.

- Le point {I,P} ne se trouve pas sur la vraie courbe de demande et, en général ne s'y retrouvera pas que si celle-ci est linéaire (ce qui est fort improbable). Donc, tout modèle qui se base sur des données agrégées comme {I,P} sera probablement incapable de reproduire la vraie relation existant entre le choix modal et le revenu. Les figures 2.1(b) et 2.1(c) illustrent deux exemples de cas extrêmes, qui ne sont pas inconcevables, dans lesquels l'agrégation supposée ne conduit à aucune relation apparente entre le choix modal et le revenu (figure 2.1(b)), ou encore, elle conduit à une relation positive (augmentation de l'utilisation du mode si le revenu augmente (figure 2.1(c)), alors que dans les deux cas, la vraie relation sous-jacente générant les résultats agrégés observés est une relation négative entre le choix modal et le revenu (l'utilisation du mode diminue lorsque le revenu augmente (figure 2.1(a)). Clairement, les modèles développés à partir des données exposées dans les figures 2.1(b) ou 2.1(c) seront sérieusement dans l'erreur — c'est à dire biaisés. Et, en général, tout modèle agrégé spatialement sera sujet à un certain niveau inconnu de biais.

Le problème du biais d'agrégation est réduit dans les cas où les zones sont relativement homogènes par rapport à la variable d'agrégation. Cependant, ceci est rarement le cas dans les modèles interurbains, dans lesquels une «zone» correspond en général à une aire urbaine entière (Toronto, Montréal, etc.), à l'intérieur de laquelle des variables explicatives importantes comme le revenu, l'emploi, la composition de la famille, les temps et coûts d'accès/sortie (parcours de l'origine à la station d'arrêt/parcours de la station d'arrêt à la destination finale (access/egress)), etc. vont toutes varier considérablement de manière complexe.

Figure 2.1
EXEMPLE DE BIAIS D'AGRÉGATION

CAS (a)



CAS (b)

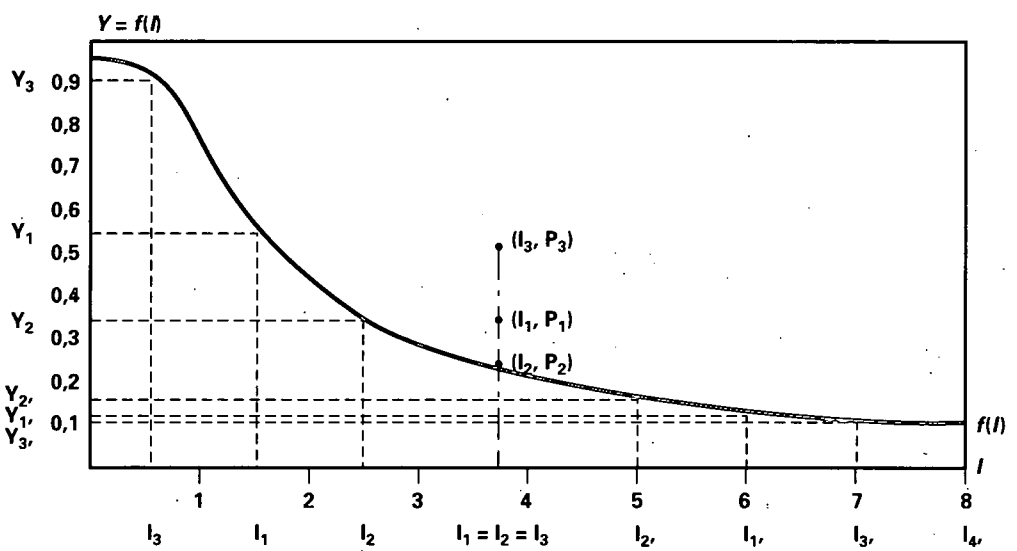
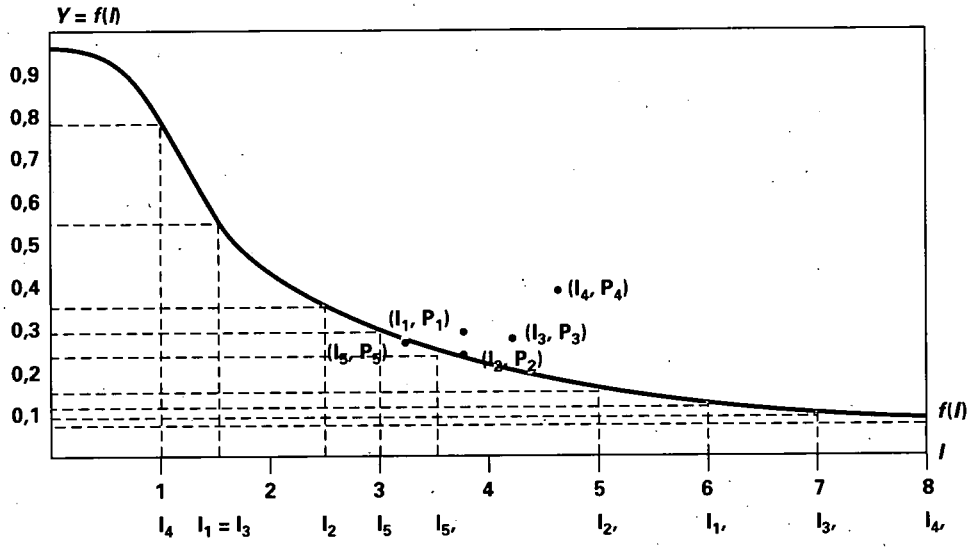


Figure 2.1 (suite)
EXEMPLE DE BIAIS D'AGRÉGATION

CAS (c)



L'impact du biais d'agrégation peut aussi être minimisé si le modèle est plus ou moins contraint à des variables de type réseau qui comportent relativement peu de biais (par exemple, temps et coûts de déplacement de ville à ville). On peut aussi alléguer que l'effet «net» de tous les autres facteurs (revenu, etc.) est «capté» par les paramètres du modèle d'une façon telle qu'il serait improbable que cet effet change au cours de la période de prévision d'intérêt. De nombreux modèles agrégés de demande interurbaine peuvent être classifiés, du moins aproximativement, dans cette catégorie, puisqu'ils incluent relativement peu (ou pas) de variables socio-économiques (variables particulièrement sensibles au biais d'agrégation). Il ne faut toutefois pas omettre la question très importante de savoir si «l'effet net de tous les autres facteurs» demeure, en fait, réellement constant dans le temps (ou du moins convenablement contrôlé) dans ce type de modèles.

Un second aspect important des modèles agrégés, qui constitue en réalité une extension du problème de biais d'agrégation, est celui de la transférabilité des modèles. Indépendamment du fait que le modèle est «fatalement» biaisé ou pas, il est clair que la capacité de le transférer de la région pour

laquelle il a été développé à une autre région est limitée, puisque les effets «nets» enchassés dans le modèle agrégé sont probablement assez différents d'une région à l'autre. Donc, il est improbable qu'un modèle devéloppé pour un corridor ou un pays donné soit facilement transférable à un autre corridor ou pays. C'est certainement le cas pour les modèles de demande de transport urbain, et, comme il est dit plus loin dans ce rapport, les preuves disponibles démontrent que cela semble également être le cas pour les modèles interurbains. Ainsi, il est probable qu'au mieux, seuls des résultats très généraux puissent être transférés d'une région à une autre ou d'un pays à un autre.

2.3 DEFINITION DU MARCHÉ DE DÉPLACEMENT DES VOYAGEURS

Il est largement reconnu dans les textes concernant la modélisation de la demande que les déplacements interurbains doivent être désagrégés selon le motif du déplacement. Au minimum, cela suppose le développement de modèles séparés pour des motifs d'affaires et autres que les affaires afin de reconnaître les processus de comportement très différents, élasticités de choix, etc, qui caractérisent ces deux marchés de déplacements très différents. Une plus grande désagrégation des déplacements pour motif autres que les affaires (en motifs «visites à des amis», «personnel», «vacances», etc.) dépend en général de la disponibilité des données et de l'importance que l'on accorde à la distinction de ces sous-marchés à l'intérieur du corridor ou de la région faisant l'objet de l'analyse.

Cependant, une catégorisation additionnelle du marché est généralement possible et habituellement désirable. Notamment, il peut exister des différences significatives quant à la disponibilité des modes et les processus décisionnels entre les déplacements interurbains de courte et longue distance, et cela bien que le seuil entre les déplacements de courte et longue distance ne soit pas nécessairement bien compris. De même, il n'est pas évident que des corridors linéaires et des systèmes de transport régionaux ou inter-régionaux plus généraux se comportent de manière similaire de façon à pouvoir être bien représentés par le même modèle. Il peut donc être nécessaire d'avoir une certaine forme de catégorisation spatiale, sur la base de la distance et/ou de la structure du système de transport, afin de mieux comprendre le marché du transport interurbain dans son ensemble.

Cette discussion au sujet de la catégorisation du marché est bien entendu un autre exemple de la question d'agrégation dont on a parlé dans la

partie précédente. En catégorisant «adéquatement» le marché, on essaie d'identifier les voyageurs relativement homogènes en fonction de leur façon de prendre des décisions (arbitrage entre le temps et le coût, etc.) et le contexte dans lequel ces décisions sont prises (disponibilité des modes, caractéristiques pertinentes des modes, etc.). Une difficulté propre au processus de segmentation du marché est que ce processus doit être effectué généralement avant l'estimation formelle du modèle, de sorte que la sélection, statistiquement rigoureuse, du schéma de catégorisation «optimal» est souvent difficile à obtenir. De plus, la segmentation sous-entend que l'on développera deux modèles ou plus, basés sur des sous-échantillons de l'ensemble de la banque de données, introduisant ainsi la possibilité d'obtenir des paramètres estimés moins significatifs. Ceci fait de la segmentation du marché un processus fastidieux et inévitablement quelque peu *ad hoc* qui n'a probablement pas été étudié dans la plupart des efforts de modélisation de manière aussi approfondie et uniforme qu'on aurait pu le souhaiter.

Une alternative à la segmentation du marché serait l'utilisation de variables permettant la catégorisation des individus, directement à l'intérieur de la forme fonctionnelle du modèle. Ces variables peuvent être de types spatial, socio-économique ou représenter le motif de déplacement. Ainsi, par exemple, il est fort commun d'inclure le revenu comme variable explicative directement dans le modèle de choix interurbain au lieu d'estimer différents modèles pour différents groupes de revenu. Toutefois l'inclusion de ce type de variables dans le modèle même implique généralement des hypothèses très fortes (et habituellement simplistes), concernant les effets que ces variables produisent dans le processus décisionnel modélisé. De plus, elles impliquent habituellement une recherche ad hoc et par tatonnement de la meilleure combinaison de variables, bien que dans ce cas-ci, il existe un certain nombre de tests statistiques (tests-t, etc.) qui permettent de guider la recherche.

2.4 SPÉCIFICATION DU MODÈLE

Une part considérable des textes consacrés à la modélisation de la demande de transport interurbain portent sur la question du choix de la forme fonctionnelle de ces modèles. Selon l'analyse détailée de Rice et al (1981), une grande partie des premières discussions sur ce sujet étaient «inexactes» en ce sens que les différentes formes fonctionnelles envisagées à l'époque n'étaient habituellement que de simples variations algébriques d'un modèle à l'autre (par exemple, la plupart des modèles de demande directs en une

étape pouvaient être décomposés algébriquement en modèles en deux étapes et vice versa). Cependant, l'ensemble des méthodes de modélisation s'élargissant, des modèles aux formes fonctionnelles significativement différentes sont apparus, à partir desquels on obtient des résultats manifestement différents (descriptifs et prévisionnels), même lorsqu'ils sont calibrés en utilisant la même banque de données. De plus, la possibilité de capturer ces différentes formes fonctionnelles comme des variations paramétriques de formes fonctionnelles plus générales — et donc de tester statistiquement les mérites relatifs de ces autres formes fonctionnelles — s'est accrue au cours des ans.

Le choix de la forme fonctionnelle du modèle s'avère fondamental pour le processus de modélisation en ce sens qu'il détermine le type de données nécessaires pour estimer le modèle, la procédure d'estimation utilisée pour déterminer les paramètres du modèle (la facilité de résoudre cette procédure et son efficacité), et surtout le comportement du modèle dans son ensemble en terme des prévisions du comportement futur du système, compte tenu de l'ensemble des politiques de transport testées. La forme fonctionnelle devrait être choisie d'après sa plausibilité théorique, sa capacité de s'ajuster aux données observées, sa capacité de prévision et ses performances au niveau des prévisions. Le dernier de ces points est bien entendu d'une plus grande importance pratique, mais est également le plus difficile à vérifier, particulièrement lorsqu'on travaille avec d'autres hypothèses telles que l'introduction d'un service de train à grande vitesse dans les corridors de déplacement des voyageurs nord-americains. Ainsi, en pratique, on a tendance à s'appuyer sur des raisonnements théoriques et des résultats descriptifs empiriques (c'est à dire, qualité d'ajustement aux données observées) pour développer des modèles qui serviront, on l'espère, à prévoir à l'avenir des situations non observables.

3. Modèles agrégés de demande de transport interurbain

3.1 INTRODUCTION

Avant les années 1980, pratiquement tous les modèles opérationnels de prévision de demande de transport interurbain étaient totalement agrégés. Comme il est expliqué dans la partie 4, les modèles de choix modal désagrégés ont commencé à être devéloppés à partir des années 1970 et au début des années 1980. Cette tendance s'est maintenue (pour toutes les

raisons théoriques examinées dans la partie 2 à tel point que les modèles de choix modal sont devenus la norme[4] opérationnelle. Cependant les modèles de génération et distribution demeurent essentiellement spécifiés au niveau agrégé. En général, ces derniers modèles n'ont guère changé au cours des vingt dernières années[5].

Les modèles agrégés non canadiens des années 1960 et 1970 sont bien passés en revue dans d'autres études[6], et il ne serait pas d'une grande utilité de répéter ce type d'exercice ici, compte tenu du faible contenu théorique de la plupart de ces modèles, du manque de transférabilité de leurs résultats et du fait qu'ils ont été dépassés par des méthodes plus récentes et plus solides du point de vue méthodologique (au moins en ce qui concerne les modèles de choix modal). Cette partie se concentre au contraire sur les travaux canadiens consacré au développement et à l'utilisation de modèles agrégés de demande de transport interurbain.

Deux modèles opérationnels importants ont été développés durant les années 1970 au Canada : le modèle de la Commission canadienne des transports (CCT), développé en 1969-1970 pour le corridor Windsor-Québec, et le modèle PERAM de Transports Canada, développé au milieu des années 1970 pour le transport interurbain de l'ensemble du Canada. Le modèle CCT est étudié plus en détail dans la sous-section 3.2, principalement pour deux raisons : d'abord il est très représentatif de l'état de la question dans les année 1970 concernant les modèles agrégés et il marque le point de départ de la plupart des travaux canadiens en matière de modélisation qui suivirent.

Malheureusement, il existe très peu d'information détaillée de domaine public pour le modèle PERAM. Les grandes études ayant utilisé PERAM (l'étude de VIA Rail[7] de 1984 et l'Étude sur le transport voyageurs multimodal dans le sud de l'Ontario (SOMPS)[8]) donnent, qualitativement parlant, une bonne vue d'ensemble du modèle ainsi que des résultats finaux de prévision, mais aucune d'entre elles ne contient le type d'information technique et détaillée qui serait d'un intérêt direct pour cette étude. Cependant, le modèle PERAM découle de la recherche économétrique de Gaudry et Wills (1978) qui fait partie de la question analysée dans le paragraphe suivant.

Un autre type de travail de modélisation agrégé, qui semble plus ou moins uniquement canadien, s'appuie sur la recherche de plusieurs économistes canadiens (Gaudry, Wills, Oum, Gillen). Ces économistes se sont penchés

sur la forme fonctionnelle des modèles de demande interurbaine de transport des voyageurs et les implications du choix de la forme fonctionnelle sur les élasticités de la demande. Ce travail est d'une importance directe pour cette étude; d'abord du point de vue méthodologique par les implications sur le choix et la spécification du modèle, et sur le plan des résultats empiriques concernant les élasticités de la demande de transport canadienne. Ce travail est résumé dans la sous-section 3.3.

3.2 LE MODÈLE CCT[9]

Bien que datant de plus de vingt ans, le modéle devéloppé à partir de l'enquête pour le corridor Québec-Windsor en 1969 par la Commission canadienne des transports (CCT), dans le cadre de l'Étude interurbaine sur le transport des passagers, constitue un point de départ important pour l'étude des modèles de demande interurbaine de transport des voyageurs, pour plusieurs raisons :

- Il représente le premier modèle de demande interurbaine important, développé au Canada;
- Il est un des modèles les mieux documentés au Canada; et;
- Il est représentatif de l'état de la question pour ce qui est de la modélisation de la demande interurbaine pour la période allant de la fin des années 1960 au début des années 1970.

Le modèle CCT est un modèle en deux étapes de la demande des transports en commun (transport aérien, ferroviaire et par autocar) dans le corridor Québec-Windsor, défini par le sytème d'équations suivant :

$$V_{AB} = K_T P_A P_B^{1.08} L_{AB}^{1.30} e^{-0.7/r_A} e^{0.23(D-T)} (C - P)^{-0.41} W^{0.205} \quad [3.1]$$

$$MS_i = w_i / W \quad [3.2]$$

$$w_i = K_i T_i^{-3.05} C_i^{-4.85} e^{-3.9/F_i} \quad [3.3]$$

$$W = \Sigma_i w_i \quad [3.4]$$

où :

V_{AB} = nombre total de déplacements générés de la ville A vers la ville B par des transporteurs publics

K_T = constante (= 2,73)

P_A, P_B = populations de la ville A et de la ville B (milliers)

L_{AB} = indice d'appareillement linguistique entre les villes A et B ($0 \leq L_{AB} \leq 1$)

r_A = fraction des familles dont le revenu annuel est supérieur à 12 000 $

D = temps de conduite sur autoroute (de centre à centre) (heures)

T = temps total de trajet moyen par transporteur public, pondéré par la répartition modale (heures)

C = coût total du trajet moyen par transporteur public, pondéré par la répartition modale (dollars)

P = coût perçu de l'auto (0,03 $/mille-véhicule; 2,15 personnes/véhicule)

W = niveau de service des transporteurs publics défini dans le modèle de répartition modale

MS_i = fraction du trafic (répartition modale) utilisant le mode i (pour les paires de villes A-B, les indices AB sont effacés pour simplifier la présentation)

w_i = niveau de service du mode i

W = impédence du systéme ou niveau de service de l'ensemble des transporteurs publics

T_i = temps de trajet total de l'usager (comprend les temps d'accès de sortie, d'attente dans le terminus et le temps de préparation du convoi) (dizaines d'heures)

C_i = coût total du voyage (comprend les coûts d'accès et de sortie et le prix du billet) (dizaines de dollars)

F_i = fréquence perçue des départs journaliers

K_i = constante modale (avion = 31,8, train = 10,0, autocar = 1,65)

La structure en deux étapes (demande totale, répartition modale), l'utilisation du terme *ad hoc* (*W*), «déplacements induits», dans l'équation de la demande totale et la nature multiplicative des deux équations [3.1] et [3.3], sont caractéristiques des connaissances sur la modélisation lorsque ce modèle a été devéloppé. La procédure d'évaluation (régression linéaire en utilisant les versions «linéarisées» de ces équations), qui n'utilise relativement que peu d'observations (34 paires de villes dans ce cas) afin d'estimer un nombre relativement élevé de paramètres du modèle (8 pour l'équation de la demande totale, 6 pour le modèle de répartition modale) est également typique. Certaines caractéristiques quelque peu inhabituelles de ce modèle incluent le manque de prévision de la demande explicite pour le mode automobile en raison surtout du manque de données) et l'utilisation du terme «appareillement linguistique» afin de dégonfler le niveau d'interaction entre les paires de villes dans le corridor en fonction de leur relative compatibilité linguistique.

Les exposants de 1,0 et 1,08 sur les termes de population dans l'équation [3.1] impliquent que la demande de transport totale pour les transporteurs publics entre n'importe quelle paire de villes a des élasticités constantes unitaires par rapport aux populations des deux villes. Il faut donc en conclure que si chacune des populations devait doubler, la demande de transport public pour la paire de villes quadruplerait. L'élasticité unitaire est un résultat extrêmement improbable et sans doute le résultat de l'estimation du modèle avec un très petit échantillon d'observations d'une coupe transversale. En utilisant un plus grand échantillon d'observations recueillies sur une plus longue période, on obtiendrait certainement de meilleures évaluations des effets de la population, ce qui impliquerait certainement des valeurs d'exposant (et donc d'élasticité) nettement inférieures à 1 (en supposant que la même forme fonctionnelle ait été utilisée).

De même, les termes associés aux «déplacements induits» dans ce modèle sont également suspects. Notons qu'une diminution du temps de déplacement du train, par exemple, a trois effets dans ce modèle. Elle augmente la part du mode ferroviaire dans la répartition modale des tranporteurs publics, puisque w_{train} augmentera par rapport à *W*, mais elle augmente

aussi la demande totale des transporteurs publics à cause de la diminution de *T* (temps moyen de déplacement des transporteurs publics) et de l'augmentation de *W* (niveau de service des transporteurs publics). Cette augmentation de la demande des transporteurs publics est due vraisemblablement à une diversion des déplacements en automobile vers les transports publics et partiellement à de nouveaux déplacements non effectués antérieurement. Les problèmes que pose cette approche incluent les points suivants :

- Il est très difficile, sans modélisation explicite du mode automobile d'assurer que l'effet du «transfert du mode automobile» est correctement capté.
- Les élasticités croisées des volumes des transporteurs publics selon le mode liées au temps et au coût du déplacement en automobile impliqués par ce modèle sont égales à 0,23 et 0,41 respectivement. C'est donc dire qu'elles sont constantes dans les trois modes de transport public. Il s'agit d'un résultat fort improbable. L'élasticité croisée constante du mode automobile est aussi peu plausible. L'ordre de grandeur de l'élasticité croisée du coût semble très élevé, du moins par rapport aux résultats obtenus dans la modélisation urbaine, dans lesquels l'utilisation de l'automobile (à court terme) est généralement assez inélastique par rapport au coût. L'augmentation de l'élasticité croisée du temps pour le mode automobile par rapport au temps total de déplacement est un résultat beaucoup plus vraisemblable, bien que l'exactitude de l'ordre de grandeur de cette élasticité croisée ne soit pas facile à juger.
- Le modèle implique que l'élasticité de la demande totale des transporteurs publics, par rapport au niveau agrégé de service (*W*) soit de 0,205. Il s'agit de nouveau fort probablement d'une sur-estimation des effets des déplacements induits, due là encore à l'estimation du modèle à partir d'un petit échantillon de données d'une coupe transversale. Il est fort improbable que la véritable augmentation nette des déplacements attribuable à des modifications du niveau de service soit statistiquement identifiable à partir de données provenant d'une coupe transversale, le potentiel de corrélations susceptibles de fausser les résultats étant tout simplement trop grand.
- Il n'existe pas de contrainte logique pour introduire dans l'équation de demande totale les termes correspondant aux niveaux de service des transporteurs publics (c'est à dire, *T*, *C* et *W*) de manière à ce que les élasticités de la demande totale par rapport aux variables des niveaux de

service aient les signes appropriés. On en trouvera une illustration dans le tableau 3.1 dans lequel les élasticités de la demande pour certains modes variables de service et paires origine-destination sont égales à 0 ou marginalement positives. Dans chaque cas, ce résultat implique que le fait d'augmenter le temps ou le coût (selon le cas) de déplacement pour un mode donné n'entraîne pas de perte ou occasionne même une faible augmentation du niveau de fréquentation des transporteurs publics — résultat possible que si l'un ou plusieurs des modes inchangés attirent quelques nouveaux voyageurs «induits», en plus de ceux qu'ils obtiennent du mode ayant subi les changements de niveau de service. Il s'agit manifestement d'un résultat illogique, mais que l'on retrouve souvent dans les modèles ayant cette forme générale.

Si l'on ne tient pas compte des effets des «déplacements induits», les élasticités directes et croisées de la part du marché d'un mode *i* par rapport au changement de la variable de niveau de service *k* pour le mode *j* sont données par :

$$e_{iik} = \begin{cases} \beta_k(1 - P_i) & \text{pour } k = \text{temps ou coût} \quad [3.5.1] \\ (\beta_k/F_i)(1 - P_i) & \text{pour } k = \text{fréquence} \quad [3.5.2] \end{cases}$$

$$_{jijk} = \begin{cases} -\beta_k P_j & \text{pour } k = \text{temps ou coût; } j \neq i \quad [3.6.1] \\ -(\beta_k/F_j)P_j & \text{pour } k = \text{fréquence; } j \neq i \quad [3.6.2] \end{cases}$$

où :

β_k = coefficient modal de la $k^{\text{ième}}$ variable

P_i = répartition modale du mode *i* (fraction)

F_i = fréquence du mode *i*

Quelques points à noter concernant ces élasticités de répartition modale :

- Les élasticités croisées sont constantes à travers les modes inchangés. Par exemple, l'élasticité croisée de la part du mode aérien par rapport à

un changement du niveau de service du train est égale à l'élasticité croisée de la part du mode autocar par rapport au même changement (puisque les équations [3.6.1] et [3.6.2] ne dépendent pas du mode inchangé *i*, mais seulement du mode ayant changé *j*). On en trouvera une illustration au tableau 3.1, dans lequel les élasticités croisées de n'importe quelle colonne sont les mêmes (à part quelques différences marginales dues à la sensibilité de la demande totale). On estime généralement qu'il s'agit d'une propriété indésirable de ce type de modèle de parts modales. Cependant, selon l'analyse de la sous-section 4.2, c'est une propriété commune à plusieurs modèles de répartition modale.

- En général, le modèle implique que plus les parts modales sont petites plus les élasticités directes vont avoir une valeur élevée (c'est à dire, l'équation [3.5.1] prescrit que e_{iik} à une valeur maximale égale à β lorsque le mode *i* a une part égale à 0) et l'élasticité décroît linéairement avec l'augmentation de la part du mode. De la même manière, la valeur des élasticités croisées augmente linéairement avec la part du mode modifié (c'est à dire, le mode *j*), atteignant un maximum lorsque le mode modifié possède la totalité du marché. La nature générale de ces relations est intuitivement raisonnable, même si la stricte linéarité de la relation entre l'élasticité de la part du mode et la part du mode peut être trop simpliste.
- Étant donné ces relations d'élasticités en combinaison avec les coefficients très élevés du modèle dans l'équation [3.3], nous pouvons prévoir des valeurs d'élasticités, surtout directes, très élevées. C'est ce que confirme le tableau 3.1, dans lequel les élasticités-prix directes sont considérablement supérieures à 1,0 en valeur absolue, et les élasticités-temps directes, pour les modes autocar et train sont supérieures à 1,0 en valeur absolue.

Tableau 3.1
ÉLASTICITÉS TEMPS ET PRIX, MODÈLE CCT, 1969

Effet sur le volume de :	1. Montréal-Toronto					
	Temps prévus			Tarif		
	Avion	Train	Autocar	Avion	Train	Autocar
Avion	0,62	0,84	0,22	–2,75	1,61	0,40
Train	0,29	–0,35	0,22	1,27	–2,59	0,40
Autocar	0,29	0,84	–2,15	1,27	1,61	–3,87
Total	**–0,21**	**0,01**	**0,00**	**–0,90**	**0,01**	**0,07**
Effet sur le volume de :	**2. Ottawa-Montréal**					
	Temps prévus			**Tarif**		
	Avion	**Train**	**Autocar**	**Avion**	**Train**	**Autocar**
Avion	–0,46	0,72	0,36	–2,97	1,45	0,73
Train	0,07	–0,82	0,36	0,43	–1,66	0,73
Autocar	0,07	0,72	–1,44	0,43	1,44	–2,91
Total	**0,01**	**–0,21**	**–0,16**	**0,06**	**–0,42**	**–0,32**
Effet sur le volume de :	**3. Toronto-Ottawa**					
	Temps prévus			**Tarif**		
	Avion	**Train**	**Autocar**	**Avion**	**Train**	**Autocar**
Avion	–0,58	0,07	0,36	–2,71	1,22	0,66
Train	0,27	–1,52	0,36	1,26	–2,64	0,66
Autocar	0,27	0,71	–1,88	1,26	1,22	–3,48
Total	**–0,19**	**0,04**	**–0,01**	**–0,87**	**0,07**	**–0,03**

La linéarisation du modèle de répartition modale implique la définition d'un mode de «référence», divisant l'équation [3.2] pour chacun des modes n'étant pas pris comme mode de référence par l'équation [3.2] pour le mode de «référence», et prenant ensuite les logarithmes des deux côtés, ce qui nous permet d'obtenir :

$$\log (MS_i/MS_b) = \log (K_i/K_b) + a^* \log (T_i/T_b) + b^* \log (C_i/C_b) + c^*(F_b/F_i) \quad [3.7]$$

où l'indice b désigne le mode de référence, et K_i, K_b, a, b et c sont les paramètres du modèle à estimer.

Comme il est démontré dans Wills (1981), l'utilisation des moindres carrés ordinaires pour estimer l'équation [3.7] nous donnera des coefficients estimés biaisés, qui vont varier selon le mode de référence choisi. Wills démontre qu'une méthode de régression généralisée en plusieures étapes elimine ce biais. Le point crucial, cependant, est que tous les modèles estimés en utilisant cette forme de linéarisation et la méthode des moindres carrés ordinaires, contiendront tous un certain niveau de biais et pourraient donner des résultats de prévisions peu fiables.

3.3 ÉTUDE DE LA FORME FONCTIONNELLE DU MODÈLE

Gaudry et Wills (1978) montrent que plusieurs des formes fonctionnelles des modèles interurbains courants mises au point jusque là, sont en fait des cas particuliers d'un modèle très général, construit en utilisant les transformations de Box-Tukey ou Box-Cox des variables dépendantes et indépendantes dans un modèle général linéaire. Les équations généralisées de répartition modale et de la demande totale ont été éventuellement estimés pour quatre modes (avion, train, autocar, automobile) en utilisant les données de 1972 pour 92 paires de villes canadiennes. En se limitant au modèle de répartition modale, on suppose l'équation générale suivante :

$$MS_m = \frac{\exp\left[\alpha_{m_0} + \sum_k \alpha_k (C_{m_k} + \mu_{1,k})^{(\lambda_{1,k})}\right]}{\sum_m \exp\left[\alpha_{m_0} + \sum_k \alpha_k (C_{m_k} + \mu_{1,k})^{(\lambda_{1,k})}\right]} \qquad [3.8]$$

où MS_m correspond à la part de marché du mode m, les divers termes α sont des paramètres du modèle, μ et λ sont les paramètres de transformation qui contrôlent la forme fonctionnelle du modèle et C_{m_k} est la $k^{ième}$ variable explicative du modèle pour le mode m. Trois variables explicatives seulement sont utilisées dans les modèles estimés : le prix du billet, F, le temps de trajet, H, et la fréquence, D.

Divers modèles spécifiques, impliquant des hypothèses différentes concernant les paramètres μ et λ, ont ensuite été estimés. En particulier, si l'on fixe tous ces paramètres à zéro, on retrouve la forme multiplicative (telle qu'elle est utilisée dans le modèle CCT). De façon similaire, si l'on fixe les paramètres μ à zéro et les λ à un, nous obtenons le modèle multinomial logit standard (voir la partie 4 pour plus de détails à propos de ce modèle).

Le tableau 3.2 résume les résultats d'estimation des cinq modèles testés. Ces modèles ont été disposés à partir de la gauche, du plus général (nommé

«TLCS-2») au plus restreint (le modèle «log-linéaire», ou modèle multiplicatif, et le modèle logit, sous-entendant des hypothèses également restrictives, mais différentes, concernant la forme fonctionnelle). Comme l'indiquent les valeurs de la fonction de vraisemblance des divers modèles ($L_1(\lambda, \mu)$), plus le modèle est général, plus sa qualité d'ajustement d'ensemble est grande. Dans une certaine mesure, on devait s'attendre à ce type de résultat, sachant bien que plus on a de paramètres dans un modèle (moins le modèle est restreint), plus il correspondra à un certain ensemble de données.

Tableau 3.2
RÉSULTATS D'ESTIMATION DES MODÈLES DE GAUDRY ET WILLS (1978)

Paramètres	Modèles					
	A TLCS-2	B TLCS-1	C CLCS-2	D CLCS-1	E Log linéaire	F Logit
(*F*) $\lambda_{1,1}$	–0,2399	–0,2660	–0,2626	–0,1930	0,0	1,0
(*H*) $\lambda_{1,2}$	–1,0982	–0,2660	–0,0513	–0,1930	0,0	1,0
(*D*) $\lambda_{1,3}$	0,0298	–0,2660	0,5712	–0,1930	0,0	1,0
μ_k	35,757	8,6862	0,0	0,0	0,0	0,0
(Avion) α_{10}	4,7986 (3,629)	0,7288 (1,044)	21,762 (5,001)	0,9343 (1,462)	1,3910 (1,695)	113,00 (3,486)
(Train) α_{20}	5,0241 (4,230)	0,5087 (1,124)	21,115 (4,957)	0,0380 (0,097)	1,0136 (1,618)	112,28 (3,459)
(Autocar) α_{30}	4,2821 (3,761)	–0,3085 (–0,793)	20,354 (4,837)	–0,8106 (–2,504)	0,2516 (0,452)	111,76 (3,448)
(Automobile) α_{40}	0,0 (–)	0,0 (–)	0,0 (–)	0,0 (–)	0,0 (–)	0,0 (–)
(F) α_1	–1,8164 (–14,13)	–1,7231 (–14,96)	–1,8274 (–17,09)	–2,2254 (–18,70)	–2,9653 (–15,57)	$-0{,}841\times10^{-3}$ (–11,31)
(H) α_2	–0,0153 (–5,941)	–0,3932 (–5,105)	–0,8358 (–4,596)	–0,3605 (–4,144)	–1,3148 (–5,576)	–0,0141 (–9,092)
(D) α_3	1,3779 (5,735)	0,4414 (5,067)	13,503 (5,368)	0,1331 (5,022)	0,4221 (4,607)	0,0114 (3,521)
$L_1(\lambda, \mu)$	543,87	539,95	538,66	532,97	528,71	456,32
$L_1(\hat{\lambda}, \hat{\mu}) - L_1(\lambda, \mu)$	0	3,94	5,21	10,90	15,16	87,55
r^2	0,7301	0,7223	0,7197	0,7079	0,6987	0,4909
Skewness	3,155	3,331	3,268	3,466	3,731	6,888
Kurtosis	0,566	0,711	0,624	0,765	0,990	2,667
D.F.	0	2	1	3	4	4

Nota : Les nombres entre parenthèses sont des t-statistiques.

Il y a lieu toutefois de faire deux remarques à propos de ces résultats. Premièrement, les résultats obtenus avec le modèle logit sont relativement moins bons que ceux obtenus avec les autres modèles, ce qui peut être dû à la nature très agrégée du modèle développé, bien qu'il n'y ait en principe aucune raison pour laquelle les autres modèles ne pourraient pas être appliqués à un niveau plus désagrégé, de même que le modèle logit, et donner peut être des résultats similaires.

La deuxième remarque, plus générale, porte sur le choix de la forme fonctionnelle qui peut avoir un impact considérable sur les conclusions tirées du modèle. Le tableau 3.3 présente pour deux des modèles les élasticités des parts de marché des quatre modes, évaluées à la valeur moyenne de l'échantillon, pour le prix, le temps et la fréquence. Comme il est indiqué dans ce tableau, ces élasticités peuvent varier considérablement en fonction du λ, qui à son tour influence la nature de la forme fonctionnelle du modèle. La figure 3.1, illustre ce point par le trace des élasticités prix et temps du modèle CLCS-1 en fonction de λ.

Les valeurs «optimales» de λ pour les modèles CLCS-1 et TLCS-1 sont égales à –0,193 et –0,266 respectivement.

L'interpolation linéaire des résultats du tableau 3.3 nous permet d'obtenir les estimés des élasticités de service pour les deux modes, compte tenu des λ optimaux (tableau 3.4). Ces estimés impliquent que tous les modes sont élastiques par rapport au prix (les modes train et autocar sont très élastiques par rapport au prix); que les modes avion et automobile sont inélastiques par rapport au temps, tandis que les modes train et autocar semblent avoir des élasticités-temps qui se situent aproximativement entre –0,8 et –1,1 (selon le modèle envisagé); enfin que les trois modes de transport public sont inélastiques par rapport à la fréquence.

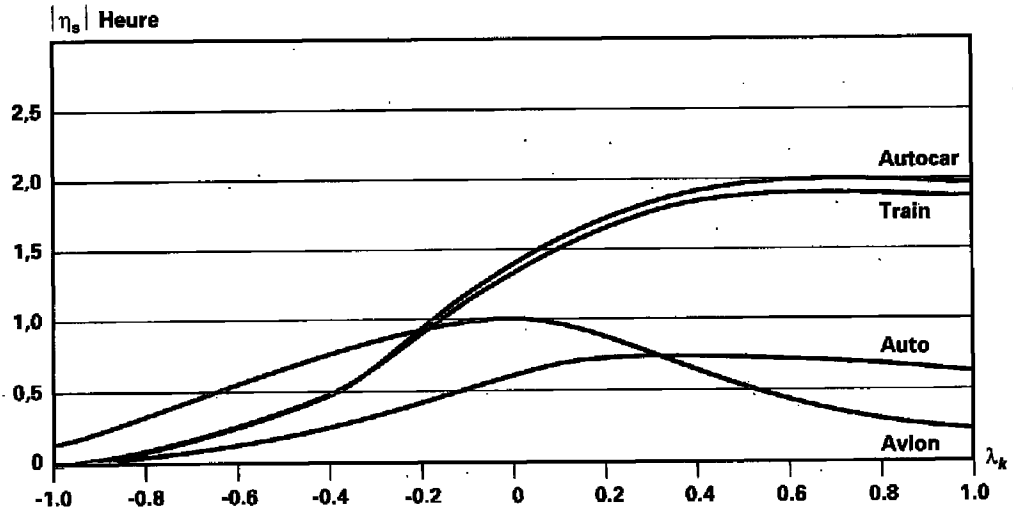
Tableau 3.3
ÉLASTICITÉS DE SERVICE[a], GAUDRY ET WILLS (1978)

	Équation de répartition modale; modèle CLCS-1; élasticités des parts de marché						Équation de répartition modale; modèle TLCS-1; élasticités des parts de marché						
$\mu_k = 0$	Auto			Avion			$\mu_k = 10$	Auto			Avion		
λ_k	Tarif	Temps	Fréquence	Tarif	Temps	Fréquence	λ_k	Tarif	Temps	Fréquence	Tarif	Temps	Fréquence
−1,0	0,48	0,02		0,50	0,16	−0,14	−1,0	0,48	0,18		0,49	0,83	−0,32
−0,5	1,03	0,16		1,31	0,61	−0,24	−0,5	0,88	0,51		1,09	1,08	−0,32
−0,2	1,25	0,37		1,86	0,86	−0,28	−0,2	1,14	0,53		1,65	0,76	−0,34
0	1,26	0,56	s/o	2,07	0,92	−0,29	0	1,22	0,56	s/o	1,99	0,63	−0,35
0,2	1,21	0,65		2,22	0,77	−0,31	0,2	1,21	0,60		2,33	0,53	−0,35
0,5	1,09	0,66		2,37	0,48	−0,32	0,5	1,09	0,63		2,39	0,38	−0,33
1,0	0,82	0,56		2,36	0,17	−0,26	1,0	0,82	0,56		2,36	0,17	−0,26
$\mu_k = 0$	Train			Autocar			$\mu_k = 10$	Train			Autocar		
λ_k	Tarif	Temps	Fréquence	Tarif	Temps	Fréquence	λ_k	Tarif	Temps	Fréquence	Tarif	Temps	Fréquence
−1,0	1,34	0,03	−0,52	1,32	0,03	−0,24	−1,0	1,31	0,30	−0,58	1,29	0,30	−0,49
−0,5	2,48	0,29	−0,53	2,50	0,29	−0,36	−0,5	2,11	0,94	−0,43	2,12	0,96	−0,46
−0,2	2,84	0,75	−0,46	2,91	0,77	−0,40	−0,2	2,55	1,09	−0,37	2,61	1,12	−0,46
0	2,74	1,21	−0,39	2,83	1,26	−0,40	0	2,65	1,24	−0,32	2,73	1,28	−0,46
0,2	2,53	1,52	−0,33	2,64	1,59	−0,40	0,2	2,53	1,45	−0,28	2,64	1,50	−0,43
0,5	2,14	1,74	−0,25	2,27	1,82	−0,38	0,5	2,15	1,69	−0,21	2,28	1,77	−0,38
1,0	1,46	1,75	−0,12	1,59	1,84	−0,38	1,0	1,46	1,75	−0,18	1,59	1,84	−0,28

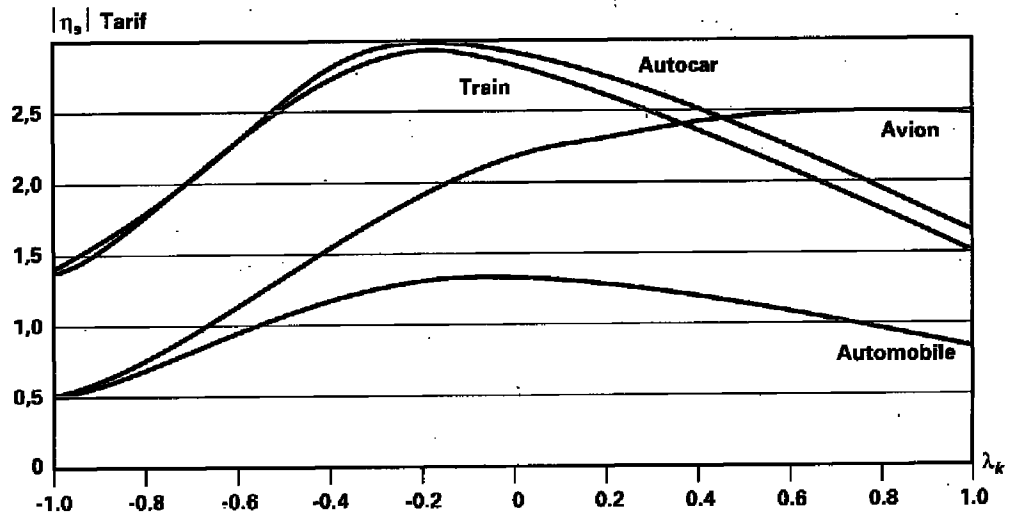
a. **Par définition, les élasticités sont calculées avec le signe opposé du coefficient estimé.**

Figure 3.1

VARIATION DES ÉLASTICITÉS PRIX ET TEMPS SELON LA FORME FONCTIONNELLE GAUDRY ET WILLS (1978), MODÈLE CLCS-1



Equation de répartition modale : modèle CLCS-1; valeur absolue des élasticités-temps.



Equation de répartition modale : modèle CLCS-1; valeur absolue des élasticités-prix.

Tableau 3.4

ÉLASTICITÉS DE SERVICE ESTIMÉES POUR DES VALEURS OPTIMALES DE λ, MODÈLES DE GAUDRY ET WILLS (1978)

Variable	Tarif		Temps		Fréquence	
Modèle	CLCS-1	TLCS-1	CLCS-1	TLCS-1	CLCS-1	TLCS-1
Auto	1,25	1,08	0,38	0,53	s/o	s/o
Avion	1,87	1,53	0,86	0,83	–0,28	–0,34
Train	2,84	2,45	0,77	1,06	–0,46	–0,38
Autocar	2,91	2,50	0,79	1,08	0,40	–0,46

Gaudry et Wills (1979) ont poursuivi ce type de recherche générale sur la forme fonctionnelle du modèle, en utilisant un modèle «Box-Cox dogit» dont la forme générale est la suivante[10] :

$$MS_m = \frac{e^{V_m} + \theta_m \sum_{m'} e^{V_{m'}}}{(1 + \sum_{m'} \theta_{m'}) \sum_{m'} e^{V_{m'}}} \qquad [3.9]$$

$$V_m = \beta_{m_0} + \sum_k \beta_m [(X_{m_k} + \mu_k)^{\lambda_k} - 1]/\lambda_k \qquad [3.10]$$

où les β sont des paramètres de la fonction d'utilité des modes, μ et λ sont, comme avant, des paramètres de transformation des variables qui contrôlent la forme fonctionnelle, et les θ sont les paramètres propres au modèle dogit, paramètres influençant davantage l'allure de la fonction. Ils modifient en particulier les élasticités croisées modales par rapport au cas du modèle logit ordinaire. Une des interprétations de ces paramètres est qu'ils incorporent les effets de «captivité» dans la population des voyageurs (c'est à dire, une certaine proportion de la population peut ne choisir qu'un seul mode sans se soucier des niveaux de service, ou encore, peut ne pas utiliser un mode à cause de contraintes d'accessibilité. Par exemple, les gens qui n'ont pas d'automobile ne pourront pas utiliser le mode automobile pour leurs déplacements interurbains).

Tableau 3.5

GAUDRY ET WILLS (1979), RÉSULTATS DE L'ESTIMATION DU MODÈLE DOGIT

Paramètre		Variantes du modèle[a]					
		DU	DCM	DCL	DEU/LU	LCM	LCL
θ_1 auto		10^{-5}	10^{-5}	10^{-7}	0,000	0,0	0,0
θ_2 public		0,039	0,044	0,041	0,000	0,0	0,0
λ_k	tarif	0,701	0,0	1,0	0,786	0,0	1,0
	temps	0,233	0,0	1,0	0,362	0,0	1,0
	fréquence	–5,438	0,0	1,0	–4,674	0,0	1,0
μ_k toutes les variables		52,08	0,0	0,0	41,44	0,0	0,0
tarif	coeff.	–2,394	–1,924	–1,530	–1,855	–1,545	–1,130
	t-stat.	(–2,34)	(–2,90)	(–1,04)	(–2,06)	(–2,90)	(–0,95)
	elast.[b]	–0,77/0,59	–0,89/0,89	–0,42/0,28	–0,62/0,45	–0,77/0,77	–0,34/0,23
temps	coeff.	–0,2457	–1,093	–10,378	–2,960	–1,02	–9,485
	t-stat.	(–8,43)	(–4,67)	(–8,40)	(–9,79)	(–5,43)	(–9,44)
	elast.[b]	–0,72/1,04	–0,50/0,50	–1,09/3,71	–0,80/1,32	–0,51/0,51	–1,08/3,67
freq.	coeff.	17×10^{-12}	0,465	26,911	22×10^{-11}	0,371	21,603
	t-stat,	(2,91)	(2,55)	(1,07)	(2,97)	(2,53)	(1,05)
	elast.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.
ct auto	coeff.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	t-stat.	(–)	(–)	(–)	(–)	(–)	(–)
ct pub.	coeff.	–1,270	1,621	29,648	–1,136	1,273	23,743
	t-stat.	(–3,26)	(127)	(1,00)	(–3,64)	(1,24)	(0,98)
$L(\Omega)$		134,52	131,78	129,95	133,31	129,69	128,56
$L(\Omega) - L(\omega)$		0,0	2,74	4,57	1,21	4,83	5,96
R^2(moy.)[c]		0,74	0,70	0,69	0,77	0,74	0,70
R^2(orig.)[c]		0,82	0,80	0,79	0,83	0,81	0,80
skewness[d]		2,45	3,10	2,59	2,09	2,56	2,06
kurtosis[d]		–0,28	0,15	–0,39	–0,18	0,24	–0,44
D.F.		0	4	4	1/2	6	6

a. **Les lettres utilisées dans les noms des modèles représentent : D = dogit, L = logit, C = contraint, U = non contraint, M = multiplicatif, L = exposant linéaire. Les *t*-statistiques sont calculées dans chaque variante pour les valeurs données de θ, λ et μ.**

b. **Les élasticités de la part propre et croisées pour la solution 2 (public) sont données pour des parts de marché que l'on suppose égales.**

c. **Calculé à partir de variables transformées par λ et μ dans le format des modèles (13)-(14).**

d. **Statistique de Skewness et Kurtosis pour la distribution des erreurs.**

Comme dans l'étude précédente, plusieurs spécifications de modèles (incluant le modèle multiplicatif et le modèle logit) ont été estimées. Dans le tableau 3.5, nous retrouvons les résultats d'estimation des six modèles testés en utilisant les observations de 1976 pour 56 paires de villes canadiennes (toutes les paires se trouvant approximativement à 1 000 milles l'une de l'autre). Les principales conclusions générales dans ce cas, sont les suivantes :

- Dans cette application, le modèle dogit n'est que de façon marginale préféré au modèle logit.
- L'utilisation sans contrainte de variables transformées fournit peu de potentiel explicatif additionnel comparativement au cas non transformé conventionnel. De plus, les transformations ne modifient pas les comparaisons dogit-logit.
- Il y a très peu de différence entre le modèle multiplicatif et le modèle «linéaire exposant» (c'est à dire, le modèle logit) en termes de qualité d'ajustement du modèle.

Ces résultats diffèrent de façon notable de ceux qui, dans le même article, proviennent d'une application urbaine, avec des données de type série chronologique, dans lequel on a trouvé que le modèle dogit était clairement supérieur au modèle logit. Les auteurs ont conclu provisoirement que «une part observée de marché minimale de 5 pour cent pour toutes les possibilités peut être une limite approximative (inférieure) pour l'utilisation convaincante du modèle logit dont les queues sont souvent trop 'minces' dans des applications particulières»[11]. Cela peut être d'une grande importance pour des applications interurbaines où le train ou l'autocar constituent souvent des modes minoritaires à l'intérieur d'un marché donné et sont souvent mal modélisés par des modèles logit ordinaires (voir la partie 4 pour plus de détails sur ce point). D'un autre coté, les modèles dogit sont spécifiquement conçus pour avoir des queues de distribution des probabilités de choix qui varient en épaisseur afin de s'ajuster au comportement observé et ainsi mieux saisir le comportement de ces modes minoritaires.

Récemment, Gaudry (1989,1990) à poursuivi cette comparaison entre les modèles logit, dogit et «le logit à transformation de puissance inverse» dans lequel une transformation est directement appliquée à la fonction d'utilité modale au lieu de l'appliquer aux variables explicatives à l'intérieur

de ces utilités. Cette dernière approche constitue un moyen assez économique de développer des formes fonctionnelles très générales, puisque cela n'implique que l'introduction de deux paramètres par mode (l'un relié aux effets d'asymétrie et l'autre aux effets de captivité par rapport à chaque mode).

Tout comme dans l'étude de Gaudry et Wills de 1978, le modèle logit est jugé inférieur aux formes plus générales lorsqu'on en utilise les données de 1976 pour 120 paires de villes canadiennes. On trouve notamment des effets d'asymétrie et de captivité significatifs, impliquant que l'utilisation d'un modèle de type logit ordinaire sous-évaluerait la réaction à des changements significatifs du niveau de service du mode ferroviaire.

Enfin, un exercice quelque peu similaire a été présenté dans Oum et Gillen (1983) qui utilisent une forme très générale de fonction d'utilité (dans ce cas, la fonction d'utilité indirecte réciproque translogarithmique) afin de dériver un système de fonctions de «parts de dépenses moyennes» pour cinq secteurs de dépenses : biens agrégés, services agrégés (excluant les services de transport interurbain) et les services interurbains pour les modes avion, train et autocar. Ce système de fonctions de parts de dépenses a été estimé en utilisant des séries chronologiques canadiennes établies pour la période 1961-1976, en supposant un ensemble de restrictions paramétriques correspondant à un ensemble d'hypothèses concernant le comportement des voyageurs.

En évaluant ces résultats de modélisation, on devra remarquer que ce modèle diffère à plusieurs égards importants des autres modèles analysés dans ce texte. Premièrement, les variables dépendantes sont des parts de dépenses et non des parts de déplacements. Deuxièmement, le modèle est de loin le plus agrégé de tous ceux examinés dans ce texte, du fait qu'il tient compte des dépenses totales canadiennes, sans aucun niveau de désagrégation spatiale (par exemple, par paire de villes origine-destination, qui est la norme de désagrégation spatiale dans les autres modèles étudiés ici.) Finalement, le tarif est la seule caractéristique modale dont on tient compte dans le modèle, ce qui veut dire qu'il ne peut pas être utilisé pour évaluer l'impact des changements de niveau de service ou valeur du temps. Cela soulève également la question de l'impact qu'auraient des changements sur le plan de l'offre — modifications des temps de trajet, des fréquences, etc.— sur les résultats du modèle, étant donné la longue période de temps pendant laquelle ce modèle est appliqué.

En général, les résultats favorisaient fortement les modèles plus généraux. Ils impliquaient en particulier que le secteur du transport interurbain des voyageurs ne devrait pas être modélisé indépendamment des autres secteurs économiques et que «l'utilisation courante de formes fonctionnelles homothétiques, comme les modèles log-linéaires, ne peut être justifiée»[12].

Le tableau 3.6 présente les élasticités prix et revenu calculées par Oum et Gillen, en utilisant le modèle généralisé pour certaines années de leur série chronologique. De façon générale, les résultats indiquent que les trois modes sont élastiques par rapport au prix. Ils indiquent aussi que l'élasticité-prix du mode avion décroît faiblement au cours de la période étudiée, tandis que l'élasticité-prix du mode train a augmenté à un taux plus significatif. Les élasticités croisées négatives pour le mode autocar sont expliquées par la nature complémentaire de ce mode par rapport aux deux autres (une explication qui n'est pas, à notre avis, très convaincante).

En résumé, les divers exercices de modélisation examinés dans cette partie pointent tous vers le besoin de formes fonctionnelles plus générales que celles utilisées typiquement dans le domaine «opérationnel» des modèles de demande de transport interurbain des voyageurs. Le modèle logit multinomial «ordinaire» en particulier, caractérisé par son assez grand nombre d'hypothèses passablement rigides concernant la forme fonctionnelle, les élasticités croisées, etc., semble être ordinairement dominé par des modèles aux formes fonctionnelles plus générales. Il s'agit d'un point très important étant donné, comme il en est question dans la partie suivante, le rôle proéminent que le modèle logit multinomial a joué (et continue de jouer) dans la modélisation de la demande interurbaine.

Cependant, l'impact de ces conclusions est affaibli par le niveau d'agrégation, malheureusement élevé, qui a été adopté dans chacune des études citées ci-dessus. Comme il a déjà été remarqué, l'étude de Oum et Gillen est la plus extrême à cet égard (l'omission du très important mode automobile de la modélisation de Oum et Gillen est aussi potentiellement gênante). En général, cependant, tous les modèles examinés ci-dessus n'ont pas désagrégé le marché du transport des voyageurs, tout au moins en déplacements pour le travail et autre que le travail, à cause de déficiences au niveau des données. Toutefois, comme nous pouvons le voir clairement d'après les résultats des modélisations désagrégées présentés dans la partie suivante, cette segmentation du marché en déplacements pour le travail et autre que

Tableau 3.6

ÉLASTICITÉS PRIX ET REVENU POUR LA DEMANDE DE TRANSPORT DES VOYAGEURS, MODÈLE DE OUM-GILLEN (1983)

Année	Tri-mestre	Avion						Autocar						Train					
		E_{11}	E_{12}	E_{13}	E_{14}	E_{15}	E_{1y}	E_{22}	E_{21}	E_{23}	E_{24}	E_{25}	E_{2y}	E_{33}	E_{31}	E_{32}	E_{34}	E_{35}	E_{3y}
1961	1	−1,2815	−0,0185	0,0311	1,0797	−2,1753	2,3645	−1,4168	−0,0757	−0,3176	−0,5064	0,2888	2,0278	−1,1051	0,1062	−0,2274	−0,0099	0,6473	0,5889
	2	−1,2537	−0,0165	0,0280	0,9691	−1,9605	2,2335	−1,3885	−0,0701	−0,2962	−0,4771	0,2736	1,9584	−1,0927	0,0946	−0,2002	−0,0173	0,5779	0,6377
	3	−1,1764	−0,0112	0,0195	0,6621	−1,3641	1,8700	−1,2747	−0,0471	−0,2101	−0,3590	0,2121	1,6787	−1,0804	0,0831	−0,1732	−0,0247	0,5090	0,6861
	4	−1,3165	−0,0209	0,0350	1,2185	−2,4451	2,5291	−1,4280	−0,0780	−0,3262	−0,5182	0,2949	2,0554	−1,1123	0,1129	−0,2433	−0,0056	0,6879	0,5603
1964	1	−1,2453	−0,0160	0,0271	0,9357	−1,8957	2,1942	−1,4424	−0,0809	−0,3371	−0,5332	0,3028	2,0908	−1,1223	0,1223	−0,2651	0,0001	0,7437	0,5211
	2	−1,2247	−0,0145	0,0248	0,8539	−1,7368	2,0973	−1,3992	−0,0722	−0,3043	−0,4884	0,2795	1,9846	−1,1044	0,1056	−0,2259	−0,0105	0,6436	0,5916
	3	−1,1615	−0,0102	0,0179	0,6031	−1,2496	1,8003	−1,2773	−0,0475	−0,2120	−0,3618	0,2136	1,6851	−1,0885	0,0906	−0,1908	−0,0200	0,5542	0,6545
	4	−1,2768	−0,0181	0,0306	1,0607	−2,1388	2,3424	−1,4332	−0,0790	−0,3301	−0,5238	0,2979	2,0682	−1,1286	0,1282	−0,2790	0,0038	0,7792	0,4962
1968	1	−1,1911	−0,0122	0,0211	0,7205	−1,4778	1,9395	−1,4115	−0,0746	−0,3136	−0,5013	0,2863	2,0148	−1,1608	0,1583	−0,3496	0,0230	0,9597	0,3694
	2	−1,1814	−0,0116	0,0201	0,6822	−1,4034	1,8942	−1,3907	−0,0704	−0,2979	−0,4798	0,2751	1,9637	−1,1319	0,1313	−0,2862	0,0056	0,7979	0,4832
	3	−1,1385	−0,0086	0,0154	0,5118	−1,0725	1,6924	−1,2897	−0,0500	−0,2214	−0,3750	0,2206	1,7156	−1,1101	0,1109	−0,2383	−0,0073	0,6757	0,5692
	4	−1,2187	−0,0141	0,0242	0,8300	−1,6908	2,0694	−1,4365	−0,0796	−0,3326	−0,5274	0,2999	2,0762	−1,1737	0,1703	−0,3779	0,0305	1,0320	0,3186
1972	1	−1,1686	−0,0107	0,0186	0,6307	−1,3041	1,8340	−1,4794	−0,0882	−0,3651	−0,5724	0,3235	2,1817	−1,2820	0,2717	−0,6157	0,0948	1,6296	−0,1084
	2	−1,1583	−0,0099	0,0175	0,5899	−1,2248	1,7856	−1,4526	−0,0828	−0,3448	−0,5446	0,3090	2,1158	−1,2079	0,2024	−0,4530	0,0505	1,2241	0,1838
	3	−1,1237	−0,0075	0,0137	0,4526	−0,9579	1,6229	−1,3140	−0,0548	−0,2398	−0,4007	0,2341	1,7753	−1,1559	0,1538	−0,3388	0,0194	0,9327	0,3887
	4	−1,1856	−0,0118	0,0205	0,6982	−1,4353	1,9139	−1,5282	−0,0981	−0,4021	−0,6232	0,3430	2,3017	−1,3429	0,3286	−0,7494	0,1312	1,9809	−0,3484
1976	1	−1,1475	−0,0092	0,0163	0,5474	−1,1421	1,7351	−1,5517	−0,1029	−0,4198	−0,6473	0,3624	2,3595	−1,4511	0,4297	−0,9870	0,1961	2,5871	−0,7749
	2	−1,1436	−0,0089	0,0159	0,5319	−1,1121	1,7168	−1,5198	−0,0964	−0,3956	−0,6143	0,3453	2,2809	−1,2770	0,2670	−0,6048	0,0919	1,6116	−0,0887
	3	−1,1163	−0,0071	0,0129	0,4234	−0,9015	1,5885	−1,3495	−0,0621	−0,2668	−0,4377	0,2534	1,8627	−1,1911	0,1867	−0,4161	0,0404	1,1301	0,2499
	4	−1,1736	−0,0110	0,0192	0,6507	−1,3431	1,8578	−1,6152	−0,1157	−0,4679	−0,7135	0,3970	2,5154	−1,5377	0,5180	−1,1772	0,2475	3,0729	−1,1164

Source : Oum et Gillen, 1983.

Nota : Indices : 1 = avion, 2 = autocar, 3 = train, 4 = biens, 5 = services, y = revenu.

le travail est fondamentale pour l'obtention d'une représentation adéquate de la demande interurbaine de transport des voyageurs, étant donné les différentes variables, élasticités et autres associées à chacun de ces marchés. De plus, il se peut qu'une segmentation supplémentaire du marché (selon la distance du trajet, la taille du groupe, etc.) puisse être également importante pour le développement de modèles.

Ainsi, l'importance relative de l'utilisation de formes fonctionnelles plus générales dans la modélisation de la demande interurbaine restera difficile à déterminer jusqu'à ce que le type de vérifications d'hypothèses structurées représentées par les travaux de Gaudry-Wills et Oum-Gillen ne soient répétées avec des ensembles de données plus riches, permettant une segmentation appropriée du marché. Il semble que cette entreprise serait éminemment valable, particulièrement si l'on tient compte du fait que ce type de vérification d'hypothèses est rarement effectué dans les travaux «normaux» de modélisation de la demande, qui impliquent trop souvent, au début du processus de modélisation, des formes fonctionnelles relativement arbitraires qui ne sont jamais révisées ni vérifiées au cours du processus.

Malgré ces avertissements importants concernant les modèles agrégés et la segmentation des marchés, nous ne devrions pas perdre de vue les conclusions très générales et constantes de ces études, à savoir que le modèle logit multinomial aura probablement des difficultés à modéliser les modes «minoritaires» (petites parts de marché) et que ce modèle établit certainement des hypothèses trop contraignantes concernant la nature des élasticités des parts modales, en particulier des élasticités croisées. Comme il est clairement démontré par l'analyse des modèles logit multinomial présentée dans la partie suivante, ces inquiétudes semblent être vérifiées par l'expérience acquise avec ces modèles. Comme on le verra également dans la partie 4, il existe des généralisations du modèle logit multinomial autres que celles présentées ci-dessus. Il s'agit en général de diverses formes de structures décisionnelles «emboîtées» ou «structurées», fournissant des structures d'élasticités plus complexes tout en conservant éssentiellement la simplicité analytique et de calcul du modèle logit. Selon l'analyse présentée dans les parties suivantes, le choix entre ces différentes approches (par exemple, forme fonctionnelle généralisée, structure décisionnelle généralisée ou segmentation du marché) pourrait nécessiter une recherche systématique, plus approfondie, semblable de par sa nature à celle qui a été examinée dans cette partie, mais qu'on se doit d'appliquer dans un contexte conceptuel plus large et dans un environnement empirique plus riche.

4. MODÈLES DE TRANSPORT INTERURBAIN DES VOYAGEURS DÉSAGRÉGÉS

4.1 INTRODUCTION

Cette partie commence par un bref survol, dans la sous-section 4.2, de l'approche désagrégée des choix afin de modéliser la demande de transport des passagers. La sous-section 4.3 présente un examen condensé des premiers travaux non canadiens sur la modélisation désagrégée. On passera ensuite en revue des modèles interurbains de répartition modale conçus par des Canadiens durant les 20 dernières années dans les sous-sections 4.4 et 4.5. Ces modèles peuvent être regroupés en deux catégories relativement distinctes : les modèles logit multinomial fondés sur des données relatives aux préférences révélées (c'est à dire, des modèles estimés à l'aide d'observations sur les choix réels) des modes par de vrais voyageurs à l'intérieur du réseau de transport interurbain des voyageurs) et des modèles logit «structurés» basés sur des données de préférences déclarées (c'est à dire, des modèles estimés d'après des choix de voyageurs à qui on a demandé d'énoncer leur préférence lors d'une situation hypothétique mais réaliste). Le premier groupe (les modèles basés sur les préférences révélées) est traité dans la sous-section 4.4 tandis que le deuxième groupe (les modèles basés sur les préférences déclarées) est étudié dans la sous-section 4.5. En plus des modèles canadiens examinés aux sous-section 4.4 et 4.5, les récents travaux prometteurs de modélisation entrepris aux E.U. s'appuyant sur les préférences révélées et déclarées, sont aussi mis de l'avant.

4.2 SURVOL DES MODÈLES DE CHOIX MODAL DÉSAGRÉGÉS[13]

Comme nous l'avons vu de façon assez approfondie dans la partie 2 la modélisation des déplacements des voyageurs au niveau désagrégé des déplacements individuels comporte de nombreux avantages conceptuels par rapport à la modélisation traditionnelle des flux de déplacements agrégés entre les villes. Le modèle opérationnel dominant de choix modal au niveau désagrégé est le modèle logit multinomial dont la forme générale est la suivante :

$$P_{it} = e^{V_{it}} / \sum_{j \in C_t} e^{V_{jt}} \qquad [4.1]$$

$$V_{it} = \beta' \boldsymbol{X}_{it} \qquad [4.2]$$

où :

P_{it} = probabilité qu'un individu t sélectionne le choix i dans un ensemble de choix possibles C_t

V_{it} = utilité systématique du choix i pour l'individu t

$\boldsymbol{X}_{it}$ = vecteur de variables explicatives, composé des attributs du choix i (temps du trajet, coût, etc.) et de l'individu qui voyage t (revenu, type d'emploi, etc.)

β = vecteur de paramètres du modèle ou coefficients (le symbole ' indique que le vecteur est transposé, donc $\beta'\boldsymbol{X}_{it}$ représente le produit matriciel de deux vecteurs colonne, β et $\boldsymbol{X}_{it}$

La fonction d'utilité modale V_{it} n'a pas besoin d'être linéaire dans les paramètres, tel que le montre l'équation [4.2]. Cependant elle l'est généralement car cette hypothèse simplifie grandement l'estimation du modèle. Notons que X_{it} peut inclure des combinaisons non linéaires de variables explicatives (par exemple, le coût du déplacement divisé par le revenu) aussi bien que des variables dichotomiques (par exemple, égale à un si l'individu t fait partie d'un certain groupe socio-professionnel et égale à zéro autrement), sans pour autant violer cette propriété de linéarité dans les paramètres.

Étant donné les équations [4.1] et [4.2], la forme générale des élasticités directes et indirectes des parts des modes du modèle logit peuvent être dérivées de la façon suivante :

$$e_{iik} = \beta_k X_{ik}(1 - P_i) \qquad [4.3]$$

$$e_{ijk} = -\beta_k X_{jk} P_j \qquad [4.4]$$

où X_{ik} est la valeur de la $k^{ième}$ variable associée au mode i et l'indice t qui représente l'individu a été omis de manière à simplifier la présentation des variables X et P.

Ces élasticités sont similaires à celles que l'on trouve dans le modèle CCT (voir sous-section 3.2), avec la dépendance additionnelle du niveau de la variable changée (c'est à dire, X_{ik} ou X_{jk}). Comme dans le modèle CCT, les

élasticités croisées sont constantes à travers les modes «inchangés», et, les élasticités directes et croisées varient linéairement avec la part modale (ignorant l'effet des variables X) de la même façon que dans le modèle CCT. Les grandeurs des élasticités dépendent largement de l'ordre de grandeur du produit $\beta_k X_{ik}$.

L'hypothèse concernant la constance des élasticités croisées inhérente aux modèles logit multinomial représente la seule grande faiblesse de la méthode de modélisation. Cette hypothèse implique que l'amélioration d'un des modes (ou l'introduction d'un nouveau mode) entraînera un transfert de déplacement, en proportions égales, des divers modes disponibles vers le mode amélioré. Cette caractéristique est souvent désignée sous le nom «indépendance des choix non pertinents» (independence of irrelevant alternatives — IIA). Une des façons les plus simples d'exprimer la propriété IIA est de voir que le ratio des probabilités de choix pour deux modes i et j est donné par :

$$P_{it}/P_{jt} = e^{V_{it}}/e^{V_{jt}} = e^{(V_{it} - V_{jt})} \qquad [4.5]$$

Par conséquent, le ratio des probabilités de choix, quels que soient les deux modes considérés, appartenant à l'ensemble de choix disponibles, dépend uniquement des utilités systématiques des deux modes et en aucun cas des autres modes de l'ensemble de choix disponibles ni de leurs attributs. En d'autres termes, ces autres modes sont «non pertinents» au ratio de probabilités (P_{it}/P_{jt}).

Par exemple, si le mode train est amélioré de façon significative, le modèle logit prédira un transfert proportionnellement égal de déplacements de chacun des modes concurrents (probablement les modes automobile, autocar et train) vers le mode train amélioré. Les ratios de probabilité auto/avion et auto/autocar (ou tout autre ratio combinant ces trois modes) resteront constants comme l'exige l'équation [4.5]. Toutefois, un véritable marché interurbain de transport des voyageurs ne se comportera probablement pas de cette manière. En pratique, le mode train amélioré attirera probablement des proportions différentes de voyageurs (plus ou moins grandes) des modes de transport concurrents, selon les combinaisons prix/temps/service offertes. (Un service très coûteux de train à grande vitesse pourrait probablement détourner des voyageurs utilisant principalement le mode avion; un même service mais à prix modéré pourrait détourner des

voyageurs utilisant principalement le mode automobile). Ainsi les prévisions du modèle logit pourraient surévaluer ou sous-évaluer de manière significative la diversion modale et cela à cause de l'hypothèse IIA (ou hypothèse des élasticités croisées constantes).

Si cette hypothèse devenait insoutenable dans une application donnée, on devrait avoirs recours à un modèle de choix modal plus complexe. Dans la pratique courante, cela suppose généralement l'utilisation d'un modèle structuré ou d'un modèle logit emboîté. Ces modèles sont étudiés plus en détail dans les sous-sections 4.4.6 et 4.5, où sont présentés des exemples de modèles de demande interurbaine de voyageurs ayant cette forme.

De façon générale, les coefficients des paramètres du modèle logit multinomial sont statistiquement estimés en utilisant la méthode du maximum de vraisemblance (MV) basée sur les choix observés d'un échantillon de voyageurs qui se déplacent réellement à l'intérieur du système modélisé. Cet échantillon peut être tiré à partir des voyageurs de chaque mode du système (c'est à dire, un échantillon aléatoire de voyageurs utilisant le mode train, de voyageurs utilisant le mode autocar, etc.) ou d'un ensemble de ménages ou d'individus choisis aléatoirement dans l'ensemble de la population (auquel cas on obtient des informations récentes au sujet des déplacements interurbains des ménages). Dans le premier cas, l'échantillon basé sur le choix doit être pondéré de manière appropriée afin d'obtenir des paramètres du modèle non biaisés (Manski et Lerman 1977). Dans les sous-sections 4.3 et 4.4, nous étudions divers modèles développés en utilisant des données sur les préférences révélées et des modèles qui utilisent les données sur le choix et sur les réponses des ménages.

Comme il a été brièvement noté dans l'introduction, les modèles désagrégés peuvent également être estimés en utilisant des données sur les préférences déclarées obtenues en demandant à un groupe donné d'individus de faire des choix dans des situations hypothétiques. Par exemple, «en supposant certains temps, coûts et autres facteurs relatifs des deux modes, quel mode *choisiriez*-vous?» La sous-section 4.5 passe en revue l'évolution historique des modèles canadiens basés sur les données sur les préférences déclarées. Ces modèles sont d'une importance particulière pour ce rapport car ils représentent la principale méthode utilisée par VIA Rail au cours de la dernière décennie pour prévoir la concurrence intermodale dans le marché canadien interurbain de transport des voyageurs.

4.3 RÉSUMÉ DES PREMIERS MODÈLES NON CANADIENS[14]

La première utilisation du modèle logit pour modéliser le choix du mode par le voyageur dans le contexte interurbain (tout utilisant des données agrégées) a été celle d'Ellis et al (1971). Watson (1972, 1974) a développé un modèle logit binaire, train automobile, pour le corridor Glasgow-Édimbourg, tandis que Leake et Underwood (1978) ont développé des modèles logit binaire, train avion pour affaires et autres que affaires pour les corridors Londres-Manchester et Londres-Glasgow. Les valeurs des paramètres trouvées pour les deux corridors étaient assez similaires, à part l'existence d'un biais positif pour le mode train dans le corridor Londres-Manchester, alors qu'on obtenait un biais pour le mode avion dans le plus long corridor de Londres-Glasgow. Des modèles logit binaires qui comparaient le mode train aux modes automobile, autocar et avion ont été développés pour le corridor Buffalo-Albany-New York. Ces modèles ont été par la suite combinés pour estimer l'impact des politiques énergétiques sur l'achalandage du mode train (Cohen et al (1978)).

Une des premières utilisations des modèles logit multinomial désagrégés pour modéliser le choix modal interurbain a été celle de Stopher et Prashker (1976), modèle développé en utilisant les données du «National Travel Survey» (NTS) de 1972. Malgré l'obtention, pour les modèles affaires et autres que affaires, de paramètres statistiquement significatifs et possédant les bons signes, ils ont aussi obtenu des élasticités contre-intuitives et une mauvaise reproduction des parts modales dans certains corridors. Ces résultats médiocres ont été attribués à la base de données utilisées, bien que, comme l'a souligné Koppelman et al (1984), il est fort probable qu'ils aient eu des problèmes de spécification. Les variables de niveau de service étaient en particulier toutes exprimées en termes de ratio par rapport à des valeurs moyennes, ce qui semble une régression par rapport à certaines formulations de modèles agrégés antérieurs, ayant peu de fondement rationnel, en particulier dans la formulation du modèle logit désagrégé.

Grayson (1981) est parvenu à obtenir des résultats nettement meilleurs en utilisant les données du NTS de 1977 et une meilleure spécification du modèle (par exemple, l'inclusion du revenu et l'enlèvement des variables de niveau de service définies dans le paragraphe antérieur).

Stephander et al (1984) a estimé un modèle à trois modes (autocar, avion et automobile) pour le corridor Twin Cities-Duluth. Ce modèle se caractérisait

par des constantes spécifiques modales très élevées et donnait des élasticités temps et prix très élevées pour le mode autocar (–2,0 et –4,0 respectivement). De nouveau, ces résultats peuvent être attribués aux faiblesses méthodologiques du développement du modèle — incluant dans ce cas, l'utilisation d'un échantillonnage non aléatoire trop petit et le mélange de variables de service rapportées et estimées (pour les modes choisis et non choisis respectivement).

Finalement, Morrison et Winston (1983) ont développé le premier modèle logit emboîté de choix modal pour le transport interurbain des voyageurs. C'était un modèle en trois étapes : destination, mode et décision de louer une voiture à la destination finale du voyage. Les données du NTS de 1977 ont été utilisées pour l'estimation de ce modèle. Une discussion plus détaillée du modèle logit emboîté est présentée dans la sous-section 4.4.6.

4.4 LES MODÈLES CANADIENS À PRÉFÉRENCES RÉVÉLÉES

Cinq modèles interurbains canadiens de choix modal, logit multinomial, ont été développés et rapportés au cours des vingt dernières années. Ces modèles sont (par ordre chronologique) :

- le modèle TDA, développé pour le corridor Ottawa-Montréal en utilisant les données d'enquête de 1972, receuillies spécialement pour ce projet;
- le modèle Ridout-Miller, développé en utilisant la base de données CCT de 1969 pour le corridor Québec-Windsor;
- le modèle Wilson et al, développé en utilisant les données de «l'Enquête sur les voyages des Canadiens» de 1984 pour la demande interurbaine de transport des voyageurs, pour l'ensemble du Canada;
- le modèle Abdelwahab et al, développé en utilisant la même base de données CTS de 1984 que dans le modèle de Wilson et al; et
- le modèle PM, développé par KPMG Peat Marwick pour le Groupe de travail train rapide Québec/Ontario, en utilisant les données de VIA Rail de 1988 pour le corridor Québec-Windsor.

Chacun de ces modèles est étudié dans les sous-sections subséquentes.

De plus, le travail de Koppelman à Northwestern University durant les années 1980 est très représentatif des travaux récents dans le domaine aux É.U. Ce travail est examiné en détail dans sous-section 4.4.6.

4.4.1 Le modèle TDA[15]

Ce modèle a été spécifiquement développé pour le corridor Ottawa-Montréal en utilisant les données d'enquête de 1972, recueillies spécialement pour ce projet. Les données concernant le choix du mode ont été recueillies en utilisant des enquêtes faites à bord des véhicules, pour les modes avion, train et autocar, et des entrevues le long des routes pour le mode automobile. Le rapport du projet ne contient aucune information sur la méthode de pondération utilisée pour ajuster les résultats de l'estimation du modèle logit, compte tenu de la façon dont les données ont été recueillies.

La plus importante contribution de cette étude est l'examen statistique très détaillée du rôle explicatif des variables de service concernant le choix modal interurbain (du moins dans le corridor Ottawa-Montréal en 1972). Les enquêtes à bord et le long des routes ont permis de recueillir des informations sur les caractéristiques de service modal et les attitudes et perceptions des usagers du transport par rapport à ces mêmes caractéristiques. Une analyse approfondie des données a été entreprise avant le développement du modèle logit multinomial. Elle comprend notamment une analyse de facteurs afin de déterminer quels sont les principaux facteurs affectant le choix modal; une analyse discriminante afin de déterminer les variables qui identifient au mieux les usagers de chaque mode; et des analyses des tablaux de contingence et des régressions et programmation linéaire afin de vérifier les résultats de l'analyse discriminante. Les conclusions générales de cette étude sont les suivantes :

- L'ordonnancement de 24 variables selon leur importance sur le choix du mode de transport, basé sur le pourcentage de réponses «très important» ou «assez important» pour chaque variable. Ces résultats se trouvent au tableau 4.1.
- L'analyse des facteurs des variables ordonnancées et l'évaluation des quatre modes par rapport à 18 attributs modaux indiquent que les facteurs les plus importants, lors du choix du mode, sont les dimensions «confort» et «temps et horaires».

- L'analyse discriminante indique que bon nombre des variables qui identifient le mieux les groupes de voyageurs selon le mode ne sont généralement pas très importantes pour les voyageurs. Par exemple, les trois meilleures variables discriminantes sont «la disponibilité d'une voiture à destination» (classée huitième en importance), «la possibilité de travailler en chemin» (classée 18e en importance) et «la nourriture» (classée 11e en importance). Par contre, «la sécurité» (classée quatrième en importance) avait le quatrième coefficient le plus bas des 24 variables analysées dans l'analyse discriminante. Il faut noter que 75 pour cent du marché analysé correspond au mode automobile, de loin le mode le moins sécuritaire. De même, les trois variables les mieux classées, «l'horaire des départs», «fiabilité du temps d'arrivée» et «durée du trajet» avaient des coefficients discriminants dont la valeur était la moitié de celle des trois meilleures variables discriminantes présentées ci-dessus.

- En commençant avec les 18 attributs modaux mentionnés dans le deuxième point ci-dessus, en plus d'un grand ensemble de mesures de temps, de coût et de fréquence, les meilleurs modèles logit, en terme d'ajustement aux données pour les voyages d'affaires et de loisirs, incorporaient les variables suivantes :

  - temps d'accès/sortie;
  - temps perçu de porte à porte (classé de «très faible» à «très bon» en utilisant une échelle de sept points);
  - convenance des horaires de départ (échelle de sept points); et
  - uniquement pour le modèle «loisirs», coût par personne du trajet porte à porte.

- Dans cette étude, on n'a pas essayé d'enquêter sur les effets des caractéristiques socio-économiques (le revenu, etc.) sur le choix modal interurbain.

Tableau 4.1
CLASSEMENT DES FACTEURS AFFECTANT LE CHOIX DU MODÈLE, ÉTUDE TDA

Rang des variables	Numéro des variables	Définition des variables
1	2	Horaire
2	3	Fiabilité des temps d'arrivée
3	1	Durée du trajet
4	7	Sécurité
5	8	Minimum de dispositions à l'avance
6	11	Fatigue
7	5	Confort des sièges
8	23	Auto disponible à destination
9	14	Possibilité de relaxer en route
10	10	Absence de bruits
11	21	Nourriture
12	4	Coût
13	12	Intimité
14	16	Facilité de manutention des bagages
15	18	Intérieur agréable
16	20	Carte de crédit
17	24	Auto laissée à la famille
18	13	Travail en route
19	19	Partie reservée aux fumeurs
20	22	Service personnalisé
21	6	Confort de l'aérogare
22	15	Quantité de bagages
23	9	Voir du pays
24	17	Rencontrer des personnes intéressantes

4.4.2 Le modèle Ridout-Miller[16]

Ce modèle a été développé en utilisant la base de données CCT de 1969 pour le transport public dans le corridor Québec-Windsor. Cette base de données requiert une pondération adéquate des observations lors du processus d'estimation des paramètres. Comme nous l'avons déjà dit, cette banque de données ne contenait pas d'information sur les déplacements en voiture, réduisant ainsi la sensibilité du modèle aux politiques de transport. L'objectif principal de cet exercice de modélisation était d'acquérir de l'expérience en matière d'application du modèle logit désagrégé au problème du choix modal interurbain et d'étudier les différences de comportement des voyageurs selon les divers motifs de déplacement.

Étant donné ce dernier objectif, on a développé trois modèles, un pour chacun des motifs de déplacement suivants : affaires, loisirs (combinaison de visites à un ami ou parent, vacances, achats et sorties), et personnel (combinaison d'affaires personnelles et autres). On a étudié un grand nombre de spécifications fonctionnelles pour chacun des modèles. Le tableau 4.2 présente un résumé des résultats de cet exercice d'estimation en terme des variables finalement incluses dans la version finale de la «meilleure» spécification de chacun de ces modèles[17] et les valeurs estimées des paramètres pour chaque variable dans chacun des modèles. Notons que nous pouvons obtenir les fonctions d'utilité systématiques associées à chaque mode dans le modèle, en additionnant chacune des variables définies dans le tableau 4.2(a), multiplié par la valeur de leur paramètre associé du tableau 4.2(b). Ainsi, la fonction d'utilité du mode train dans le modèle affaires est donné par :

$$V_{rail} = 0.2032 - 0.01442*ACC - 0.004578*EG_R - 0.03507*(FARE/INC) - 0.04029*TIME_R + 0.6755*d_R \quad [4.6]$$

où toutes les variables sont définies dans le tableau 4.2.

Le tableau 4.2 indique qu'il existe des différences majeures entre les formes fonctionnelles des trois modèles qui s'ajustent le mieux aux données. Ces différences incluent l'utilisation des variables de temps d'accès/sortie, du temps passé dans le véhicule, de fréquence et d'emploi. En d'autres termes, il semble que la façon d'évaluer les modes concurrents et donc la façon dont les gens font leurs choix de mode soit significativement différente selon le motif du déplacement et ce, en plus, des différences au niveau des valeurs des paramètres pour chacun des motifs de déplacement.

Comme l'indique le tableau 4.2, les modèles qui s'ajustent le mieux aux données sont ceux qui incluent un tarif composite divisé par le revenu, ce qui implique que les élasticités prix varient systématiquement avec le niveau de revenu (une proposition qui n'est certainement pas déraisonnable), comme le montre la version modifiée des équations [4.3] et [4.4] :

$$e^{p}_{ii,\,fare} = (\gamma_p/Y)F_i(1 - P_i) \quad [4.7]$$

$$e^{p}_{ii,\,fare} = -(\gamma p/Y)F_jP_j \quad [4.8]$$

où p désigne le motif du déplacement, Y le revenu du voyageur (représenté dans ce cas par un indice variant de 1 à 9 — faible à élevé — en valeur), et F_i correspond au tarif du mode i.

Étant donné les valeurs des coefficients estimés, les personnes qui voyagent pour leurs loisirs et pour des raisons personnelles ont des élasticités-coût qui sont de 9,1 et 7,5 fois supérieures, respectivement, aux élasticités-coût des gens qui voyagent pour affaires, pour des valeurs comparables de niveaux de service et caractéristiques des voyageurs. Ces résultats correspondent qualitativement à nos attentes (les gens qui voyagent pour affaires devraient être beaucoup moins sensibles aux variations de coût que les autres types de voyageurs interurbains). On a aussi trouvé que les gens qui voyagent pour leurs loisirs et pour des raisons personnelles, ont des élasticités-temps inférieures à celles des gens qui voyagent pour affaires (0,097 et 0,12 fois

Tableau 4.2
RÉSULTATS D'ESTIMATION DU MODÈLE DE RIDOUT-MILLER

(a) Variables indépendantes		
Catégorie	**Variable**	**Description**
Variables de niveau de service (pour le mode M; M = A, R, B pour l'avion, le train et l'autocar)	ACC_M	Distance d'accès (km)
	EG_M	Distance de sortie (km) (station jusqu'à destination finale)
	$FARE_M$	Coût (dollars)
	$TIME_M$	Temps passé dans le véhicule (h)
	$FREQ_M$	Fréquence (véhicles/jour)
	$DIST_M$	Distance transport aérien (km)
Variables socio-economiques	INC	Revenu du ménage
	AGE	Age du répondant
	SEX	Sexe du répondant
	JOB	Profession du répondant
	IND	Industrie du répondant
	EDUC	Niveau d'éducation
Variables choix-specifiques	D_A	1 pour le mode auto; 0 sinon
	D_R	1 pour le mode train; 0 sinon
	d_{A1}	1 si le voyageur travaille dans l'industrie manufacturière, de la construction, de la vente au détail ou en gros, pour le mode avion; 0 sinon
	d_{A2}	1 si le voyageur travaille dans la finance, les assurances, l'immobilier, ou «autre», pour le mode avion; 0 sinon
	d_{R1}	1 si le voyageur travaille dans les services médicaux ou gouvernementaux, pour le mode train; 0 sinon

Tableau 4.2 (suite)
RÉSULTATS D'ESTIMATION DU MODÈLE DE RIDOUT-MILLER

(b) Les modèles finaux						
Variables	**Affaires**		**Loisirs**		**Personnel**	
D_A	–0,3391	(1,79)	–1,918	(6,78)	–2,187	(8,13)
D_R	2,2032	(1,60)	0,1677	(1,41)	0,2332	(1,44)
ACC/DIST					–7,922	(4,49)
ACC	–0,01442	(2,41)				
ACC_A/DIST				(5,36)		
ACC_R/DIST			–14,42	(3,05)		
ACC_B/DIST			–5,283	(8,49)		
EG/DIST			–15,59	(1,49)		
EG_A	–0,06210	(6,85)	–2,052			
EG_R	–0,004578	(0,61)				
EG_B	–0,03612	(2,75)				
FARE/INC	–0,03507	(8,61)	–0,3201	(11,73)	–0,2616	(9,91)
TIME			–0,01044	(10,76)	–0,01275	(9,32)
$TIME_A$	–0,1075	(7,91)				
$TIME_R$	–0,04029	(15,60)				
$TIME_B$	–0,04029	(15,60)				
log (FREQ)			1,469	(6,43)	1,403	(4,62)
d_{A1}	0,8612	(6,99)				
d_{A2}	0,2715	(2,88)				
d_R	0,6755	(5,16)				
% right		83,9		48,4		45,6
ρ^2		0,703		0,171		0,176
Nombre. d'observations		2,497		2,551		1,082
N° de cas[a]		4,994		5,102		2,164

a. **Le nombre de cas est égal au nombre de solutions qui n'ont pas été choisies pour chaque observation, additionnés au nombre total d'observations.**

plus faibles, respectivement) en ce qui concerne l'avion et trois à quatre fois plus faibles à celles des gens qui voyagent pour affaires par le train ou l'autocar (0,26 et 0,32 fois plus faibles, respectivement), ce qui correspond de nouveau à nos attentes. Cela implique, donc, que les gens qui voyagent pour affaires par avion ont des élasticités-temps qui sont deux fois et demie (2,67) plus élevées que celles des gens qui voyagent pour affaires par autocar et par train — de nouveau un résultat raisonnable.

Si α_{ip} et γ_{ip} sont les paramètres associés au temps et au tarif pour le mode i et motif p, respectivement, le modèle de Ridout et Miller implique que la

valeur du temps, VOT_{ip} (1969 $ CAN/heure) des voyageurs utilisant le mode *i* pour le motif *p* est donnée par :

$$VOT_{ip} = (\alpha_{ip}/\gamma_{ip})^* Y \qquad [4.9]$$

Étant donné les valeurs des paramètres du modèle que nous retrouvons dans le tableau 4.2, l'équation [4.9] implique des valeurs de temps qui varient entre $3,07 et $27,63 pour les gens qui voyagent pour affaires par avion (le revenu variant de la catégorie la plus faible à la plus élevée), entre $1,15 et $10,35 pour les gens qui voyagent pour affaires par train et autocar, et entre $0,03 à $0,30 et $0,05 à $0,44 respectivement, pour ceux qui voyagent pour un motif personnel et leurs loisirs.

Comme le notent Ridout et Miller (1989), l'absence d'un terme de fréquence qui soit à la fois significatif et du bon signe dans le modèle affaires est autant inattendu que décevant. Elle est sûrement dûe à l'invariance relative des fréquences observées dans les données servant à l'estimation, spécialement si nous tenons compte du fait que les déplacements Toronto-Montréal dominent l'échantillonnage des déplacements pour affaires.

Ce manque de variance dans les variables de service modal est un problème qui revient souvent dans le processus de modélisation de la demande interurbaine lorsqu'on utilise des données de préférences révélées. Il est attribuable principalement au nombre relativement faible de paires origine-destination dans la plupart des ensembles de données concernant les corridors. Par exemple, l'ensemble de données CCT avait originalement 34 paires de villes; Ridout et Miller n'ont pu utiliser que quatre de ces paires en raison du manque d'information désagrégée concernant l'accès/sortie (temps et coût) pour les autres villes du corridor. Ce manque de variance est dû aussi au fait que la plupart des attributs concernant le niveau de service varient seulement selon la paire origine-destination et non d'une observation à l'autre pour une paire de villes donnée. Le modèle de Koppelman présenté dans la sous-section 4.4.6 comporte des problèmes de donnée similaires en ce sens que l'on n'arrive pas à obtenir un paramètre de fréquence qui soit significatif et du bon signe dans le modèle affaires. Koppelman a été obligé d'estimer conjointement les termes associés au temps et coût en construisant un terme de «coût généralisé» au moyen de valeurs de temps simulées afin d'éviter des problèmes de collinéarité largement causés par ce manque de variabilité.

Le dernier point final à noter dans le tableau 4.2 est que malgré des recherches poussées, les variables socio-économiques (en plus du revenu) ont un faible pouvoir explicatif du choix modal dans le corridor. Les variables associées au type d'occupation du modèle affaires ne semblent pas être très rationnelles du point de vue théorique.

Deux dernières remarques concernant ce modèle : Premièrement, l'examen des tables de succès de prédiction, construites en comparant les choix de modes prédits par le modèle par rapport aux choix réellement observés, indique que le modèle est incapable de distinguer effectivement entre les modes train et autocar, modes qui typiquement ont des temps et coûts de trajet très similaires pour la plupart des observations. En effet, pour plusieurs trajets, le train peut être plus coûteux, avoir une fréquence moindre et prendre approximativement le même temps et malgré tout attirer une part modale plus élevée que le service d'autocar concurrent. Ce résultat se retrouve dans les constantes modales élevées du mode train dans chacun des modèles développés, indiquant que la répartition modale observée est sous-estimée par le modèle, compte tenu des variables de ce modèle (essentiellement, le temps du trajet, le coût et la fréquence). Cette répartition modale observée dépend de manière systématique d'autres facteurs non inclus dans le modèle.

La deuxième remarque porte sur la faible capacité d'ajustement d'ensemble de ces modèles. La proportion reproduite, "percent right", et les valeurs du ρ^2 du modèle affaires semblent très impressionnantes, mais sont dûes en grande partie au fait que le mode avion domine le marché affaires dans cet échantillonnage et que le modèle en arrive à un bon ajustement en prévoyant que la plupart des voyageurs utilisent l'avion, sans véritablement faire la différence entre les utilisations réelles des modes. Les statistiques correspondantes pour les modèles loisirs et personnel sont faibles selon les normes des modèles logit (un modèle urbain comparable de répartition modale — si une telle comparaison est utile — devrait avoir des ρ^2 de l'ordre de 0,35 à 0,40 et un "percent right" de 60 pour cent ou mieux)[18]. Ces faibles statistiques de la qualité d'ajustement indiquent une incertitude considérable concernant le choix modal qui n'est pas expliquée par ces modèles.

4.4.3 Le modèle de Wilson et al[19]

Ce modèle a été estimé à l'aide des données de «l'Enquête sur les voyages des Canadiens» (EVC). L'EVC est une enquête menée périodiquement par Statistique Canada depuis 1977 à partir d'entrevues faites à domicile, afin de rassembler des données sur le comportement des voyageurs canadiens sur les trajets de longue distance. Wilson et al ont utilisé les données de l'enquête de 1984 afin de développer des modèles à quatre modes (avion, train, autocar et automobile) pour l'Est et Ouest canadien (Thunder Bay est la ville la plus occidentale comprise dans la région de l'Est) pour des déplacements pour affaires et autres. (Cependant, les résultats des modèles ne sont rapportés que pour les cas affaires de l'Est et autres de l'Ouest.)

Le tableau 4.3 donne les définitions des variables et les estimés des coefficients pour les modèles affaires de l'Est et autres de l'Ouest. Dans le tableau 4.4, on compare les résultats obtenus dans le modèle affaires de l'Est avec ceux obtenus dans le modèle pour affaires de Ridout et Miller. On peut facilement remarquer dans le tableau 4.4 que la forme fonctionnelle du modèle de Wilson et al est différente de celle que l'on retrouve dans le modèle pour affaires de Ridout et Miller[20]. La plus frappante de ces différences est peut être le fait que le revenu est considéré, dans le modèle de Wilson et al, comme étant une variable spécifique du choix au lieu d'une variable en interaction avec le coût du déplacement (comme dans le modèle de Ridout et Miller). Ces deux approches sous-entendent des hypothèses assez différentes concernant l'effet du revenu sur les utilités modales, et donc, sur le choix. L'approche qui utilise des variables spécifiques à chaque choix présente le revenu comme générateur de «biais» entre les divers modes qui varie avec le revenu (il modifie les valeurs des constantes modales chez les individus en fonction de leur revenu). Cette approche suppose aussi que la sensibilité du voyageur au coût du déplacement reste inchangée lorsque le revenu varie.

Tableau 4.3
RÉSULTATS D'ESTIMATION DU MODÈLE WILSON ET AL

		Modèle pour le motif affaires : région de l'Est			Modèle pour le motif autre que affaires : région de l'Ouest		
N° variable	**Nom de la variable**	**Estimé du paramètre**	**Écart type**	**Valeur *t*-statistiq.**	**Estimé du paramètre**	**Écart type**	**Valeur *t*-statistiq.**
1	Constante specifique; fonction d'utilité autocar	16,596	3,965	4,18	1,362	1,902	0,72
2	Constante specifique; fonction d'utilité train	18,016	4,282	4,20	–0,593	2,137	–0,18
3	Constante specifique; tfonction d'utilité avion	15,382	4,332	3,55	0,905	1,904	0,48
4	TTDT (temps du trajet/distance)	–166,285	88,960	–1,86	–0,037	0,006	–6,47
5	TCDT (coût du trajet/distance)	–15,074	7,536	–2,00	–10,781	1,965	–5,48
6	TF (fréquence du service)	0,018	0,004	4,27	0,0024	0,002	1,21
7	HH revenu spécifique; fonction d'utilité autocar	–0,0000273	0,0000282	–0,96	–0,0000102	0,0000189	–5,36
8	HH revenu spécifique; fonction d'utilité train	–0,0000488	0,0000350	–1,39	–0,0000333	0,0000328	–1,01
9	HH revenu spécifique; fonction d'utilité avion	0,0000588	0,0000250	2,34	0,0000116	0,0000828	–0,14
		Log de vraisemblance À part égale, $L(0) = -195,47$ À part de marché, $L(c) = -146,43$ À convergence, $L(\beta) = -90,29$ **Ratio de vraisemblance** $-2[L(c) - L(\beta)] = 112,28$ **Indice du ratio de vraisemblance** À zéro, $\rho^2(0) = 0,538$ Ajusté, $\rho^2(a) = 0,492$ À la constante, $\rho^2(c) = 0,383$ Nombre de cas = 141			**Log de vraisemblance** À part égale, $L(0) = -1048,00$ À part de marché, $L(c) = -624,12$ À convergence, $L(\beta) = -446,32$ **Ratio de vraisemblance** $-2[L(c) - L(\beta)] = -355,59$ **Indice du ratio de vraisemblance** À zéro, $\rho^2(0) = 0,574$ Ajusté, $\rho^2(a) = 0,566$ À la constante, $\rho^2(c) = 0,285$ Nombre de cas = 756		

Nota : HH désigne les ménages.

Tableau 4.4

COMPARAISON DES MODÈLES AFFAIRES DE RIDOUT-MILLER ET WILSON ET AL

Variable	Modèle	
	Ridout-Miller	**Wilson et al**
Constantes		
Autocar	—	16,592 (4,18)
Train	0,2032 (1,64)	18,016 (4,20)
Avion	–0,3391 (1,793)	15,382 (3,55)
Distance d'accès (km)	–0,01442 (2,408)	—
Distance de sortie (km)		
Avion	–0,0621 (6,846)	—
Train	–0,004578 (0,612)	—
Autocar	–0,03612 (2,75)	—
Temps/distance du trajet (génér.)	—	–166,285 (–1,86)
Temps de trajet		
Avion	–0,1075 (7,914)	—
Train	–0,04029 (15,60)	—
Autocar	–0,04029 (15,60)	—
Coût/distance du trajet	—	–15,084 (–2,00)
Tarif/revenu	–0,3507 (8,606)	—
Fréquence	—	0,018 (4,27)
Variable dichotomique pour les emplois en manufacture	0,8612 (6,992)	—
Variable dichotomique pour les emplois dans les finances et autres services	0,2715 (2,282)	—
Variable dichotomique pour les emplois médicaux ou gouvernementaux	0,6755 (5,163)	—
Revenu du ménage		
Autocar	—	–0,0000273 (–0,96)
Train	—	–0,0000488 (–1,39)
Avion	—	–0,0000488 (2,34)
ρ^2	0,7043	0,538

Nota : Les chiffres entre parenthèses sont des *t*-statistiques; variables dichotomiques = 0 ou 1.

Ceci veut dire que les élasticités-prix vont toujours varier avec le revenu, mais d'une façon moins dramatique que dans le modèle de Ridout et Miller. Les équations [4.3] et [4.4] peuvent être utilisées pour estimer les élasticités-prix lorsque le revenu change (toutes les autres variables restant constantes), modifiant quelque peu les termes P_i et P_j (les probabilités des parts modales). Les changements de l'élasticité par rapport au revenu sont largement inférieurs à ceux du modèle de Ridout et Miller, dont les équations [4.7] et [4.8] sont représentatives et dans lequel le revenu est directement incorporé dans l'équation de l'élasticité, en plus d'avoir un effet indirect par le terme

de probabilité. De plus, le sens des changements de l'élasticité par rapport au revenu dépendent des valeurs relatives des paramètres de revenu selon le mode. Étant donné les valeurs des paramètres présentées dans le tableau 4.3, les élasticités-prix pour les modes train et autocar décroissent très légèrement avec une augmentation du revenu, tandis que l'élasticité prix du mode avion augmente légèrement avec le revenu. Bien que nous ne puissions pas rejeter complètement ce résultat, il n'est pas clair qu'il corresponde aux attentes raisonnables au sujet des effets du revenu sur les élasticités-prix.

Pour des raisons similaires, le modèle de Wilson et al donne une valeur constante du temps par modèle (qui ne varie pas avec le revenu). Ces valeurs sont égales, pour les modèles affaires de l'Est et autres que affaire de l'Ouest, à 11,02 $ ($ CAN 1984) et 0,003 $ ($ CAN 1984) respectivement. La valeur du temps associée au motif affaires ne peut pas être rejetée; cependant le résultat pour motif autre que affaires n'est certainement pas raisonnable.

Le modèle de Wilson et al fait interagir le temps et le coût du déplacement avec la distance. Dans chaque cas, la sensibilité relative au temps et au coût du déplacement diminue lorsque la distance parcourue augmente (bien que ces sensibilités varient de la même façon avec la distance, de sorte que la valeur du temps ne varie pas avec la distance). Ce résultat n'est pas illogique, étant donné surtout que les différences entre les caractéristiques des services des divers modes déterminent les probabilités du modèle logit. En d'autres termes, le modèle de Wilson et al indique qu'une différence donnée des temps ou des coûts de déplacement entre les deux modes, devient moins cruciale pour le choix modal lorsque la distance augmente (une différence de 5 minutes dans le temps de trajet est moins importante pour un voyage de 1 000 kilomètres que pour un trajet de 100 kilomètres) — encore là, un résultat raisonnable *a priori*.

Comme dans le modèle de Ridout et Miller, les variables socio-économiques autres que le revenu n'ont pas amélioré l'ajustement du modèle aux données observées. De même, diverses variables «dichotomiques» (des variables un ou zéro) dont le but est de saisir les effets tels que la taille du groupe, les déplacements de fin de semaine, la durée et la distance du déplacement, n'ont apporté aucune contribution supplémentaire au modèle (résultats qui semblent confirmer ceux obtenus avec le modèle TDA).

Le tableau 4.5 présente des tables de succès de prédiction pour les deux modèles. Les résultats sont similaires à ceux obtenus par Ridout et Miller; les modèles ne sont pas efficaces au niveau de la prédiction des parts de marché des modes train et autocar (dans ce cas ils prédisent des parts modales pratiquement égales à zéro — un bien mauvais résultat!). Les modes train et autocar sont clairement des modes «minoritaires» dans les deux modèles (représentant collectivement seulement 11 pour cent et 6 pour cent des déplacements dans les deux échantillonnages). On a souvent trouvé que les modèles logit multinomial donnent de mauvais résultats pour ce qui est de la prédiction des modes minoritaires.

Tableau 4.5
TABLEAU DE SUCCÈS DE PRÉDICTION, MODÈLE DE WILSON ET AL

	Auto-mobile[a]	Autocar[a]	Train[a]	Avion[a]	Total de la ligne (déplac. obs.)	Part observée (%)
Tableau de succès de prédiction pour le modèle affaires : région de l'Est						
Automobile[b]	56	—	—	13	69	48,94
Autocar[b]	8	—	—	2	10	7,09
Train[b]	4	—	—	2	6	4,25
Avion[b]	6	—	—	50	56	39,72
Total de la colonne (voyages prédits)	74	—	—	67	141	100,00
Parts prédites (%)	52,48	—	—	47,52	100,00	
Pourcent. correct. prédit	81,16	—	—	89,29		
Tableau de succès de prédiction pour le modèle autre que affaires : région de l'Ouest						
Automobile[b]	473	—	—	25	498	65,87
Autocar[b]	37	—	—	2	39	5,16
Train[b]	5	—	—	2	7	0,93
Avion[b]	106	—	—	106	212	28,04
Total de la colonne (voyages prédits)	621	—	—	135	756	100,00
Parts prédites (%) (%)	82,14	—	—	17,86	100,00	
Pourcent. correct. prédit	94,98	—	—	50,00		

a. **Nombre de déplacements prédits pour chaque mode.**
b. **Nombre de déplacements observés pour chaque mode.**

Ce problème est aggravé par la méthode d'échantillonnage utilisée, axée sur les ménages. Premièrement, elle ne donne qu'un nombre relativement faible d'observations utilisables en général (dans ce cas 141 et 756 respectivement) et deuxièmement un faible nombre de choix dans les modes minoritaires. Ces problèmes peuvent être réduits si on utilise les enquêtes faites à bord des véhicules (comme pour la base de données de CCT), ce qui permet de rassembler des grands échantillonnages de manière efficiente et de sur-représenter les modes minoritaires de façon statistiquement valide. Comme le montrent clairement les résultats de Ridout et Miller, la méthodologie d'échantillonnage n'est pas suffisante à elle seule pour résoudre les problèmes de prédiction pour les modes train et autocar.

4.4.4 Le modèle de Abdelwahab et al[21]

Comme le modèle de Wilson et al, ce modèle a été formulé en utilisant les données de l'EVC de 1984. Douze modèles ont été développés au total. Un modèle pour le motif loisirs, un pour le motif affaires, un pour les trajets de courte distance (moins de 960 kilomètres) et un pour les trajets de longue distance. Ces quatre modèles ont été estimés pour l'Est canadien (Thunder Bay et l'Est), pour l'Ouest canadien (à l'ouest de Thunder Bay) et pour l'ensemble du Canada (représentant la combinaison des deux premiers modèles). On a estimé un ensemble commun de variables pour chacun des 12 modèles, à l'exception des modèles pour motif loisirs et affaires qui incorporaient une variable dichotomique tenant compte de l'effet de courte/longue distance. Les modèles de courte et longue distance incorporaient eux des variables dichotomiques similaires mais pour tenir compte de la segmentation en motif loisirs/affaires. Le tableau 4.6, donne les définitions des variables utilisées dans la spécification du modèle finalement adopté. Dans le tableau 4.7, on présente les résultats de l'estimation des 12 modèles testés.

Ces modèles visaient à tester la transférabilité spatiale des modèles interurbains de choix modal, logit multinomial. Une comparaison visuelle des divers modèles pour l'Est et l'Ouest indique que les paramètres correspondant à ces modèles varient selon la région. Des tests statistiques plus formels montrent que même après avoir mis à jour les paramètres, avant de les utiliser dans une étude pour une autre région[22], les modèles développés pour l'Est ne sont généralement pas transférables aux régions de l'Ouest, et vice versa[23]. Ces résultats correspondent généralement aux résultats du cas intra-urbain, dans lequel le transfert des modèles est rarement réalisé sauf dans le cas de villes très similaires caractérisées par des systèmes de transport très similaires, etc.[24].

Tableau 4.6

DÉFINITION DES VARIABLES EXPLICATIVES, MODÈLE DE ABDELWAHAB ET AL

Variables explicatives	Description
AUTOCAR-DICHO.	Variable dichotomique égale à 1 si l'autocar est choisi, et 0 sinon
TRAIN-DICHO.	Variable dichotomique égale à 1 si le train est choisi, et 0 sinon
AVION-DICHO.	Variable dichotomique égale à 1 si l'avion est choisi, et 0 sinon
TD	Temps de trajet (incluant les temps au terminal, d'attente et de transfert) en minutes divisées par la longueur du trajet en milles
CD	Temps de trajet (incluant le coût d'une nuit dans un hôtel) en cents divisés par la longueur du trajet en milles
DISINC	Revenu disponible = revenu du ménage (4 000) divisé par le nombre de personnes contribuant au revenu familial
DD	Variable dichotomique associée à la longueur du déplacement égale à 1 si le déplacement est court et on choisit le mode autocar ou train *ou* le déplacement est long et on choisit le mode automobile ou avion, et 0 sinon
PD	Variable dichotomique associée au motif du déplacement égale à 1 si le motif est loisirs et on choisit le mode auto *ou* le motif du déplacement est affaires et on choisit le mode autocar, train ou avion, et 0 sinon
PASSNUIT	Nombre de nuits passées loin de la maison divisé par le nombre de personnes faisant partie du voyage
PCON	Nombre de personnes ayant un emploi dans le ménage

Tableau 4.7

RÉSULTATS D'ESTIMATION DU MODÈLE ABDELWAHAB ET AL

(a) Modèles pour l'ensemble du pays								
Variables explicatives	**Déplacements loisirs**		**Déplacements affaires**		**Déplacements courts**		**Déplacements longs**	
AUTOCAR-DICHO.	2,46	(2,17)	–0,68	(–0,35)	2,92	(2,21)	0,56	(0,00)
TRAIN-DICHO.	–6,12	(–5,77)	—[a]	—	–6,41	(–6,18)	—[a]	—
AVION-DICHO.	–7,23	(–6,42)	–3,35	(–1,73)	–7,36	(–6,49)	–3,86	(–2,31)
TD	–2,94	(–7,72)	–3,08	(–4,55)	–3,57	(–7,66)	–3,50	(–5,12)
CD	–0,15	(–7,90)	–0,037	(–1,60)	–0,15	(–7,37)	0,01	(0,20)
DISINC	0,07	(3,79)	0,053	(1,40)	0,092	(5,04)	0,0009	(0,00)
DD	–2,03	(–3,17)	–2,46	(–3,39)				
PD					5,36	(3,16)	7,39	(3,00)
PASSNUIT	0,31	(1,30)	0,46	(0,79)	–0,55	(–2,06)	1,62	(1,03)
PCON	0,41	(1,84)	0,20	(0,33)	0,40	(1,57)	–0,15	(–0,30)
$L(\hat{\beta})$	–326,46		–48,56		–318,68		–46,16	
χ^2	1 614,56		340,48		879,22		858,28	
ρ^2	0,7172		0,7780		0,5797		0,9029	
N° obs.	1 465		247		1 150		572	

Tableau 4.7 (suite)
RÉSULTATS D'ESTIMATION DU MODÈLE ABDELWAHAB ET AL

Variables explicatives	Déplacements loisirs		Déplacements affaires		Déplacements courts		Déplacements longs	
(b) Modèles pour la région de l'Est								
AUTOCAR-DICHO.	2,08	(1,26)	−1,37	(−0,33)	3,20	(1,77)	−1,65	(−0,05)
TRAIN-DICHO.	−6,53	(−3,89)	—[a]	—	−6,06	(−3,44)	—[a]	—
AVION-DICHO.	−9,41	(−5,06)	−6,27	(−1,91)	−8,71	(−4,36)	−6,41	(−1,94)
TD	−5,14	(−6,30)	−5,32	(−3,75)	−6,33	(−7,04)	−1,87	(−1,73)
CD	−0,11	(−3,85)	−0,02	(−0,46)	−0,09	(−3,00)	−0,14	(−1,00)
DISINC	0,11	(3,19)	0,08	(1,14)	0,10	(3,04)	0,12	(1,26)
DD	−1,97	(−2,84)	−2,91	(−1,93)				
PD					4,29	(2,62)	5,75	(2,00)
PASSNUIT	−0,24	(−0,48)	0,20	(0,22)	−0,35	(−0,73)	2,29	(0,68)
PCON	0,14	(0,32)	0,86	(0,79)	−0,089	(−0,20)	0,55	(0,68)
$L(\hat{\beta})$	−101,64		−10,48		−116,02		−9,00	
χ^2	516,62		191,10		541,582		154,78	
ρ^2	0,7176		0,0012		0,7000		0,8958	
N° obs.	594		110		615		94	
	(c) Modèles pour la région de l'Ouest							
AUTOCAR-DICHO.	5,58	(2,57)	−2,20	(−0,63)	5,71	(2,54)	−0,17	(0,10)
TRAIN-DICHO.	−8,89	(−5,01)	—[a]	—	−9,91	(−4,73)	—[a]	—
AVION-DICHO.	−9,44	(−5,13)	−3,11	(−0,89)	−10,20	(−4,83)	−6,10	(−2,10)
TD	−4,14	(−5,11)	−0,98	(−1,99)	−4,90	(−4,98)	−3,65	(−2,71)
CD	−0,23	(−7,19)	−0,096	(−3,11)	−0,26	(−6,19)	−0,015	(−0,17)
DISINC	0,081	(2,14)	0,11	(1,63)	0,16	(3,76)	0,056	(0,81)
DD	−2,71	(−3,09)	−1,89	(−2,65)				
PD					5,27	(3,14)	2,09	(1,91)
PASSNUIT	−0,545	(−1,50)	−0,057	(−0,10)	−0,65	(−1,78)	0,85	(0,30)
PCON	0,82	(1,99)	0,71	(0,69)	0,51	(1,17)	0,54	(0,52)
$L(\hat{\beta})$	−103,22		−16,86		−80,68		−12,60	
χ^2	760,18		115,20		529,40		390,40	
ρ^2	0,7864		0,7736		0,7664		0,9394	
N° obs.	701		92		527		270	

a. **Limitations de la taille de l'échantillonnage — le mode train n'est pas inclus dans ce modèle.**

Nota : **Les chiffres entre parenthèses sont des *t*-statistiques.**

4.4.5 Le modèle Peat Marwick (PM)[25]

Ce modèle a été développé par KPMG Peat Marwick pour le Groupe de travail train rapide Québec/Ontario en utilisant les données d'enquête rassemblées pour l'étude de 1989. Ce modèle a utilisé la même base de données que le modèle HORIZON étudié dans la sous-section 4.5. Ce modèle est un modèle logit multinomial appliqué à quatre modes (avion, train, autocar, automobile), désagrégé pour les motifs de déplacement affaires et autres que affaires.

Dans le tableau 4.8, on présente les estimés des paramètres des deux modèles. Comme dans les deux modèles antérieurs, une des caractéristiques principales du modèle de PM est l'utilisation encore différente du revenu par rapport aux deux approches précédentes. Dans ce modèle, les voyageurs ont été séparés en deux groupes en fonction de leur revenu («bas», moins de 30 000 $; «élevé», 30 000 $ et plus), où le revenu est exprimé en dollars canadiens de 1988. Des paramètres séparés pour les temps d'accès/sortie et temps de trajet ont alors été estimés pour chaque groupe de revenu selon le motif du déplacement. Cela supposait que tous les autres paramètres de la fonction d'utilité (particulièrement les paramètres de coût) étaient en moyenne égaux pour les deux groupes de revenu. Les points à noter concernant cette approche sont les suivants :

- Dans ce modèle, la valeur du temps varie avec le revenu du voyageur. Le tableau 4.9 résume les valeurs du temps sous-entendues par ce modèle, selon le niveau de revenu, le motif du déplacement et la composante du temps.
- Comme dans le modèle de Wilson et al, les élasticités prix varient seulement avec le revenu (tous les autres facteurs restent constants) au point de changer les probabilités du choix modal. Cela ne se produit que lorsque le revenu passe de moins de 30 000 $ par an à plus de 30 000 $ par an. Sinon, les élasticités-prix ne varient pas avec le revenu.

Tableau 4.8
RÉSULTATS D'ESTIMATION DU MODÈLE PM

Variable	Valeur du paramètre	
	affaires	autre que affaires
Constante train	–1,6600	–1,6150
Constante avion	–0,2206	–1,4846
Constante autocar	–4,8370	–1,6700
Coût	–0,0317	–0,0416
Temps d'accès — faible revenu	–0,0256	–0,0152
Temps d'accès — revenu élevé	–0,0393	–0,0255
Temps de trajet — faible revenu	–0,0037	–0,0022
Temps de trajet — revenu élevé	–0,0134	–0,0088
Fréquence	0,0992	0,0635
Grande ville — train	1,0440	1,2230
Grande ville — avion	0,4999	0,6338
Grande ville — autocar	1,1360	1,1910
Groupe	—	–1,3330

Les tableaux 4.9(b) et 4.9(c) indiquent les élasticités-point calculées à partir du modèle PM, à l'aide de données fournies dans PM (1990), pour le parcours Toronto-Montréal. Voici quelques remarques à propos de ces tableaux :

- Comme dans tous les modèles logit simples, les élasticités croisées entre les modes concurrents sont constantes. Les valeurs présentées représentent cette élasticité croisée constante pour un changement du tarif ou du temps de trajet selon le mode. Par exemple, le modèle de PM implique une élasticité croisée, pour un changement de tarif du chemin de fer en déplacement d'affaires, personnes à faible revenu, égale à 0,44. Comme il est mentionné souvent dans cette étude, l'hypothèse des élasticités croisées constantes des modèles logit rend ces élasticités croisées quelque peu suspectes.
- Tous les modes dans ce modèle, excepté le mode automobile pour déplacement autres que affaires, sont élastiques par rapport au coût.
- Ce modèle indique que les voyageurs à faible revenu sont inélastiques par rapport au temps, quel que soit le mode. Les voyageurs à revenu élevé sont élastiques par rapport au temps pour les modes train et autocar (indépendamment du motif de déplacement) et pour le mode automobile pour affaires.
- Les déplacements par avion pour affaires ont des élasticités-prix croisées largement supérieures à 1,0, résultat qui semble quelque peu contre-intuitif.
- Les-élasticités-prix croisées pour le mode automobile tendent vers 1,0. Les-élasticités-temps croisées pour motif autres que affaires et revenu élevé tendent aussi à être supérieures à 1,0. Si l'on peut se fier à ces élasticités croisées, elles impliquent que l'utilisation des transports publics entre Toronto et Montréal est sensible au temps et au coût.
- Les élasticités croisées du tableau 4.9 sont assez faibles, exception faite des deux cas mentionnés ci-dessus.

Deux variables, non incluses dans le modèle de Wilson et al, en plus des variables de temps de trajet, coût et fréquence et destinées à expliquer la concurrence entre le transport public et la voiture sont des variables dichotomiques caractérisant les effets de groupe et de grande ville[26]. Bien que ces paramètres aient les signes attendus, la signification statistique et surtout numérique de ces paramètres, implique qu'une segmentation supplémentaire du marché pourrait être nécessaire pour spécifier adéquatement le processus de décision propre au corridor Québec-Windsor.

Tableau 4.9

VALEURS DU TEMPS ET ÉLASTICITÉS DU MODÈLE PIM

(a) Valeurs du temps ($/heure)			
Motif du voyage	**Niveau revenu**	**Accès/Sortie**	**Temps véhicule**
Affaires	Élevé	75 $	25 $
	Faible	48 $	7 $
Autre que affaires	Élevé	37 $	13 $
	Faible	22 $	3 $

(b) Élasticités-prix, Toronto-Montréal[a]								
	Élasticités directes				**Élasticités croisées**			
	Train	**Avion**	**Autocar**	**Auto**	**Train**	**Avion**	**Autocar**	**Auto**
Affaires								
Faible revenu	–1,76	–3,51	–1,04	–2,08	0,44	2,61	0,02	1,14
Revenu élevé	–2,06	–1,57	–1,06	–2,60	0,14	4,55	0,00	0,62
Autre que affaires, Non Groupe								
Faible revenu	–1,49	–4,31	–1,11	–0,52	0,27	0,30	0,24	0,81
Revenu élevé	–1,56	–3,95	–1,25	–0,44	0,19	0,66	0,10	0,90
Autre que affaires, Groupe								
Faible revenu	–1,66	–4,50	–1,26	–0,19	0,10	0,11	0,09	1,14
Revenu élevé	–1,69	–4,38	–1,31	–0,15	0,07	0,23	0,03	1,18

(c) Élasticités-temps de trajet, Toronto-Montréal[a]								
	Élasticités directes				**Élasticités croisées**			
	Train	**Avion**	**Autocar**	**Auto**	**Train**	**Avion**	**Autocar**	**Auto**
Affaires								
Faible revenu	–0,90	–0,15	–1,34	–0,80	0,22	0,11	0,03	0,44
Revenu élevé	–3,82	–0,24	–4,94	–3,63	0,25	0,69	0,01	0,86
Autre que affaires, Non Groupe								
Faible revenu	–0,57	–0,14	–0,67	–0,29	0,10	0,01	0,14	0,45
Revenu élevé	–2,38	–0,52	–3,02	–0,96	0,30	0,09	0,24	1,99
Autre que affaires, Groupe								
Faible revenu	–0,63	–0,15	–0,76	–0,11	0,04	0,00	0,05	0,63
Revenu élevé	–2,57	–0,58	–3,17	–0,33	0,10	0,03	0,08	2,61

a. **Calculé d'après les données se trouvant dans le tableau II-11, Peat Marwick [1990].**

Notons, en particulier, que le biais net des voyageurs en groupe ne se déplaçant pas pour affaires vers les petites villes est en fait -3,0 pour les modes train et autocar (-2,948 pour le train, -3,003 pour l'autocar obtenus en additionnant la constante modale au paramètre de la variable de groupe). Ceci veut dire que pour que l'on préfère n'importe lequel de ces modes au mode automobile, ils devraient être 72 $ *moins cher* que le mode automobile ou *faire gagner* 341 minutes en temps de parcours par rapport au mode automobile (en supposant le cas revenu élevé; multiplier par 4,0 pour le cas faible-revenu) ou une combinaison de ces deux cas. On peut construire des comparaisons similaires pour les effets d'accès et de fréquence. Puisque les coûts et fréquences des modes train et autocar sont *pires* que ceux du mode automobile (spécialement pour un groupe), et que les temps pour les modes train et autocar sont à peu près comparables, nous pouvons nous attendre à ce que les probabilités du choix du mode train et autocar soient, pour ce groupe, approximativement égales à $e^{-3.0}$ sont 0,05 fois la valeur de la probabilité de choisir le mode automobile. Bien que plus difficile à évaluer dans l'abstrait et du fait que le coût élevé du mode (spécialement sur la base du groupe) va certainement plus que compenser le temps de trajet plus court et la constante modale légèrement inférieure, le mode avion n'est probablement pas concurrentiel pour ce type de catégorie de voyageurs. (Remarquons aussi que les temps d'accès du mode avion sont probablement plus élevés que ceux des modes train et autocar pour cette même catégorie de voyageurs.)

Compte tenu de ce résultat, il se peut que l'on doive diviser davantage le marché des déplacements pour motif autre que affaires en déplacements en groupe ou individuels. Au minimum, ces deux catégories de voyageurs auront vraisemblablement des fonctions d'utilité assez différentes pour ce qui est des variables pertinentes et des valeurs de leur paramètres. Encore plus fondamental, ces voyageurs pourraient bénéficier *d'ensembles de choix,* à partir desquels ils effectuent leurs choix. En particulier, les gens qui voyagent en groupe pour des motifs autres que affaires et entre petites villes peuvent être en réalité «captifs» du mode automobile (du moins ceux qui ont accès à une automobile), sans tenir compte de la disponibilité objective des modes de transport public. Dans ce cas, les voyageurs en groupe devraient être analysés séparément des autres types de voyageurs, et leur inclusion dans l'ensemble du marché autre que affaires obscurcit et confond les relations qui existent dans ce marché.

On peut faire les mêmes remarques pour les variables dichotomiques caractérisant les grandes villes, variables qui réduisent de manière significative l'importance du biais net pour chaque mode. (Dans le cas des déplacements par mode avion pour affaires, la variable de grande-ville change en fait le signe du terme de biais du mode avion, de négatif (par rapport au mode automobile) à positif). Ceci peut pointer encore vers l'existence de deux marchés des déplacements : un marché correspondant aux grandes villes dans lequel les quatre modes se font concurrence sur des bases plus équitables, largement en fonction de leur caractéristiques modales relatives, et un modèle pour les petites villes dans lequel les individus sont prédisposés à l'utilisation du mode auto pour des raisons autres que les valeurs du temps de trajet, du coût et de la fréquence des modes concurrents. Alternativement ou en combinaison avec ce qui vient d'être dit, il peut s'avérer difficile de définir des variables de service pour les modes, et/ou de disponibilité des modes, (ensembles de choix) pour les petites villes dans la base de données du modèle.

Cette discussion sur les implications des valeurs élevées des variables dichotomiques et des paramètres associés aux constantes soulève la question plus générale du rôle des termes de biais modal (ou constantes spécifiques à chaque choix) dans des modèles tels que le modèle logit multinomial. Ces constantes ont pour but de saisir, «toutes choses étant égales par ailleurs», les préférences *systématiques* des voyageurs pour les divers modes; c'est à dire, qu'ils tiennent compte des effets systématiques des caractéristiques personnelles ou modales qui affectent le choix du mode, mais qui ne font pas partie explicitement du modèle (habituellement ces facteurs peuvent inclure des effets de confort et de commodité, la sécurité, la fiabilité, etc.). Ces termes de biais *doivent* être inclus dans des modèles caractérisés par des «choix ordonnancés», tels que les modèles logit de choix modal, afin d'éviter la création de biais dans d'autres paramètres du modèle[27]. Idéalement, ces termes doivent être numériquement petits en valeur, même s'ils sont statistiquement significatifs. Par contre, en pratique ils sont souvent numériquement grands par rapport à d'autres termes de la fonction d'utilité modale. Le modèle de PM est typique en ce sens. Toutes les constantes, excepté celle du mode avion pour affaires, sont statistiquement significatives et numériquement grandes. Si nous nous reportons aux tableaux 4.2 et 4.3, il est clair que les modèles de Ridout-Miller et Wilson et al peuvent aussi être critiqués de la même façon. Par exemple, la constante du mode train pour affaires implique que le prix du mode train doit être

moins cher que celui du mode automobile de 52 $, afin d'annuler l'impact de cette constante dans les calculs de l'utilité des gens qui voyagent pour affaires. La présence de ces constantes élevées suscitent des inquiétudes importantes au sujet de l'utilisation de ce type de modèles à des fins de prévision, notamment :

- Dans la mesure où ces termes dominent les fonctions d'utilité, les changements du niveau de service associés aux choix à l'étude vont entraîner de faibles changements dans la prévision du choix modal.
- La présence de constantes si élevées implique généralement l'omission, dans la fonction d'utilité systématique, de variables importantes qui affectent le choix du mode.
- En fait, comme il a été noté ci-dessus, ces constantes élevées peuvent indiquer une mauvaise spécification du marché en termes de l'ensemble de choix réels ou perçus dont disposent les voyageurs. La constante du mode autocar pour affaires, égale à -4,84, implique que le modèle surévalue l'utilisation du mode autocar par ce type de voyageurs sur la base uniquement du coût, du temps et de la fréquence. En plus de l'effet des variables omises, il se peut que les gens qui voyagent pour affaires ne considèrent tout simplement pas le mode autocar comme un mode viable pour la majorité des déplacements pour affaires. Si tel est le cas, l'inclusion du mode autocar dans l'ensemble des choix de ces voyageurs représenterait une mauvaise spécification du problème.
- Lorsque les constantes sont élevées, il est très difficile de prévoir l'impact de l'introduction d'un nouveau mode ou d'un mode très amélioré comme le train à grande vitesse, car il est difficile de définir la constante du nouveau mode. On peut notamment avancer en ce sens que des valeurs de la constante du mode train égales à -1,660 et -1,615 dans le modèle PM, pour motif affaires et autre que affaires, *ne doivent pas* être retenues, si le service actuel du corridor devait être remplacé par un autre service très amélioré (ou complètement nouveau) tel que le train à grande vitesse. À partir du comportement historique observé dans ce système, il est difficile de savoir quel devrait être la valeur du terme de biais du nouveau mode[28].

Cette dernière remarque est très importante dans le débat sur la spécification et l'application des modèles interurbains de demande de voyageurs, spécialement lorsque ces modèles sont motivés par le besoin d'étudier

l'impact de nouveaux modes au niveau des flux de voyageurs et de la répartition modale[29]. La motivation première de l'approche de modélisation mode-abstrait caractéristique des premiers travaux de modélisation était d'éliminer ce type de problèmes. Cependant, il est clair que nos modèles interurbains ainsi que les théories et les bases de données sont tels que les modèles mode-abstrait (agrégés ou désagrégés) ne seront probablement pas réalisés en pratique, obligeant le chercheur à prendre en compte les constantes modales de la meilleure façon possible, notamment de la façon suivante :

- Laisser les constantes «telles quelles», en particulier pour les changements mineurs du système ou, peut être, pour l'impact à court terme de changements majeurs du système. Cependant, il est probable que cette approche risque de sous-estimer l'impact à long terme d'améliorations majeures du niveau de service.
- Changer les constantes selon son propre jugement, en se basant peut-être sur des changements similaires observés dans d'autres corridors de même nature. Cette approche peut fournir des tests de sensibilité très utiles sur les prévisions du modèle mais le processus technique de prévision-demande peut être critiqué en raison du «rafistolage» des modèles pour obtenir de meilleurs résultats. D'autre part, des changements similaires dans des corridors tout aussi similaires sont plus difficiles à trouver en pratique que ne l'admettent généralement les planificateurs.
- Développer un modèle ou une approche de modélisation qui permette une analyse plus sensible des changements de service envisagés en plus d'être «objectivement défendable». Des exemples de telles approches sont présentés dans la sous-section 4.5 ci-dessous.

4.4.6 Le modèle de Koppelman[30]

Koppelman a utilisé les données de la «Nationwide Personal Transportation Study» (NPTS) de 1977 afin de développer les modèles logit emboîtés en quatre étapes, pour le transport interurbain des voyageurs pour motif affaires et autre aux E.U. Les quatre étapes sont les suivantes : choix de la fréquence du voyage, choix de la destination du voyage, choix modal et choix de la classe de service. Chaque étape du modèle dépend du niveau de décision supérieur (par exemple, le choix de la classe de service dépend du mode choisi) et affecte ces décisions supérieures par l'utilisation de termes «de

valeur d'inclusion» dans les fonctions d'utilité des niveaux supérieurs, afin de représenter l'utilité attendue associée au niveau de décision de niveau inférieur. Considérons, par exemple, les deux niveaux inférieurs du modèle de Koppelman : les choix du mode et de la classe de service. Dans la formulation du modèle logit emboîté, le choix de la classe de service, fonction du choix modal, est représenté par un modèle logit ordinaire dont la forme est :

$$P_{c|m} = e^{V_{c|m}/\phi} / \sum_{c'} e^{V_{c'|m}/\phi} \qquad [4.10]$$

où $P_{c|m}$ est la probabilité de choisir le service de classe c étant donné le mode m, $V_{c|m}$ est l'utilité systématique du service de classe c pour le mode m et ϕ est un scalaire qui doit varier entre 0 et 1 afin d'avoir un modèle bien spécifié. Le modèle supérieur du choix modal est donné par :

$$P_m = e^{(V_m + \phi I_m)} / \sum_{m'} e^{(V_m + \phi I_m)} \qquad [4.11]$$

où V_m est l'utilité systématique du mode m (excluant les facteurs reliés au choix de la classe de service), I_m est la valeur d'inclusion associée au choix de la classe de service pour le mode m du niveau inférieur. Cette valeur d'inclusion correspond à l'utilité maximale espérée, associé au choix de la classe de service, étant donné le mode choisi. On peut montrer que cette utilité maximale attendue est égale à [31] :

$$I_m = \log_e\left(\sum_c e^{V_{c|m}/\phi}\right) \qquad [4.12]$$

Cette approche emboîtée en quatre étapes se veut une approche raisonnable théoriquement cohérente de modélisation de la demande interurbaine de transport des voyageurs [32]. Les avantages propres à cette approche incluent les points suivants :

- Elle permet la construction de modèles en plusieurs étapes qui ont une logique interne (par rapport à l'échelle, aux hypothèses de modélisation, etc.).
- Elle fournit une expression explicite et théoriquement sûre du terme associé aux «déplacements induits», qui sera inclus dans l'étape de génération/distribution des déplacements du modèle; c'est à dire le terme de la valeur d'inclusion determiné à partir des utilités du modèle de

choix modal, afin de l'inclure dans le modèle de distribution des déplacements du niveau supérieur. Par exemple, si ce modèle exprime la probabilité de choisir la destination d'étant donné une zone d'origine o, alors la valeur d'inclusion correspondante («déplacements induits») est donnée par :

$$I_{d|o} = \log_e [\Sigma_m \, e^{(V_m + \phi I_m)/\delta}] \qquad [4.13]$$

où δ est un scalaire associé au niveau du choix modal dans la structure emboîtée (c'est à dire, qu'il variera entre zéro et un et sera multiplié par $I_{d|o}$ dans le modèle de choix de destination). L'utilisation de $I_{d|o}$ dans le modèle de choix de destination, afin de représenter l'impact des changements de service dans le processus génération/distribution, aboutira à des élasticités directes et croisées théoriquement cohérentes, et devrait donner des niveaux plausibles de déplacements induits (ce que ne réussissent pas souvent la plupart des termes *ad hoc* représentant les déplacements induits qui sont traditionnellement utilisés).

- L'approche emboîtée contourne, du moins partiellement, l'hypothèse IIA ou élasticités croisées constantes, dont nous avons discuté dans la sous-section 4.2. Du point de vue de l'ensemble du processus de choix conjoint, la corrélation entre les choix qui partagent des composantes communes des niveaux supérieurs est permise. Par exemple, au niveau du choix modal, les combinaisons mode avion-classes de service sont corrélées car elles partagent la composante, de «l'ensemble de choix», du mode avion. Cependant, ces choix reliés au mode avion sont censés être non corrélés avec les autres choix de ce même niveau — les modes train, autocar et automobile. De même, les «ensembles» mode-destination sont corrélés pour une destination donnée, au niveau du choix des destinations, parce qu'elles partagent le même choix de destination. Mais les autres destinations (et les choix de mode entre ces destinations) ne sont pas corrélées. Le modèle logit emboîté permet donc un relâchement significatif de l'hypothèse très restrictive des élasticités croisées constantes du modèle logit ordinaire. Ce modèle logit emboîté incorpore quand même une structure de covariance passablement rigide entre les choix, ce qui peut ou ne pas être acceptable à l'intérieur d'une application donnée. Cet aspect est examiné plus en détail à la sous-section 4.5.

Les inquiétudes soulevées dans la partie 2 de ce rapport au sujet du biais d'agrégation motivent l'approche désagrégée. Un ensemble de données véritablement désagrégé de demande interurbain des voyageurs n'était malheureusement pas disponible pour le développement de ce modèle. On a utilisé l'ensemble de données NPTS, qui est le plus désagrégé, mais le manque de données spatiales détaillées ne permettait pas de calculer les temps et coûts d'accès et de sortie. Ce modèle visait donc essentiellement à démontrer la faisabilité de l'approche de modélisation du modèle logit emboîté désagrégé au lieu de développer un modèle définitif pour évaluer les politiques de transport[33].

Étant donné l'accent mis sur la modélisation de la répartition modale dans ce texte, nous ne discuterons que des modèles de choix modal et du choix de la classe de service du modèle de Koppelman. Le tableau 4.10 présente le modèle service-classe pour le mode avion. C'est un modèle à trois choix (première classe, ordinaire et classe économique). Des limitations au niveau des données ont empêché le développement d'un modèle comparable pour le mode train. De même, la base de données n'était pas assez importante pour permettre le développement séparé de modèles service-classe pour le mode avion et pour les déplacement affaires et autres que affaires. Par conséquent, le motif du déplacement a été introduit dans le modèle par le biais de l'utilisation de variables dichotomiques. Les résultats indiquent que les gens qui voyagent pour affaires sont moins portés à utiliser les places à rabais (probablement à cause des contraintes au niveau des réservations et des horaires qu'implique ce type de tarif), mais n'expriment guère de préférence entre la classe économique ou la première classe, comme l'indique le paramètre numériquement petit et statistiquement non significatif de la variable dichotomique associée aux déplacements affaires en première classe.

Les paramètres associés aux variables de coût, du nombre de départs quotidiens (qui varient selon le type de classe tarifaire) et de revenu, sont tous statistiquement significatifs avec les signes attendus. Les personnes à revenu élevé notamment sont moins susceptibles de choisir les places à rabais et plus susceptibles de voyager en première classe qu'en classe économique. Le temps de trajet n'est pas inclus dans cette étape du modèle puisqu'il est invariant pour une paire origine-destination donnée, et cela quelle que soit la classe tarifaire choisie.

Tableau 4.10
LE MODÈLE DE CHOIX DE KOPPELMAN; CLASSE DE TARIF/SERVICE

Variables	Valeurs estimées	*t*-statistiques
Constantes spécifi. aux choix		
Classe économique	–0,311	0,6
Première classe	–0,889	1,2
Niveau de service		
Coût du tarif ($)	–0,010	2,7
Départs par jour	0,555	4,1
Revenu 10 000 $		
Classe économique	–0,263	1,3
Première classe	0,350	2,1
Voyage affaires		
Classe économique	–1,605	3,7
Première classe	–0,160	0,3
Mesures de la qualité de l'ajustement		
Maximum de vraisemblance		
À parts égales	–258,2	
À parts de marché	–205,3	
À $\hat{\beta}$	–172,3	
Ratio de vraisemblance (ρ^2)		
Base parts égales	0,333	
Base parts de marché	0,161	
Nombre de cas	235	

Le tableau 4.11 présente le modèle de choix modal pour le motif affaires. C'est un modèle relativement simple par rapport aux autres modèles examinés dans cette partie. Voici quelques remarques à propos de ce tableau :

- La structure temps-coût de la spécification est la même que celle de Wilson et al (c'est à dire, coût générique, temps de trajet segmentés selon le niveau de revenu). Nous pouvons donc faire les mêmes commentaires concernant les élasticités par rapport au temps et au coût.
- Cependant, on ne peut pas déduire les valeurs de temps de ce modèle, car elles ont été fixées avant l'estimation du modèle à 60 $ l'heure pour les voyageurs à revenu élevé et à 20 $ l'heure pour les faibles revenus, et utilisées par la suite pour établir un coût généralisé pour l'estimation du modèle. Cette approche a été adoptée afin de contourner la forte collinéarité entre les données de temps et de coût de déplacement — un problème courant dans la modélisation de la demande de transport interurbain des voyageurs.

Tableau 4.11

LE MODÈLE DE CHOIX DE KOPPELMAN; DÉPLACEMENTS POUR AFFAIRES

Variables	Valeurs estimées	*t*-statistiques
Constantes des choix		
Automobile	–0,883	1,5
Autocar	–1,703	2,2
Train	–2,227	2,8
Niveau de service		
Coût — $	–0,0046	3,0[a]
Temps du trajet — minutes (Revenu élevé)	–0,276	3,0[a]
Temps du trajet — minutes (Revenu faible)	–0,092	3,0[a]
Distance inférieure à 250 milles	0,324	1,5
Automobile	2,263	4,3
Autocar et train	1,994	2,9
Mesures de la qualité de l'ajustement		
Maximum de vraisemblance		
À parts égales	–359,1	
À parts de marché	–193,7	
À $\hat{\beta}$	–136,3	
Ratio de vraisemblance (ρ^2)		
Base parts égales	0,623	
Base parts de marché	0,304	
Nombre de cas	259	

a. **Les variables associées au temps et au coût du trajet ont été calculées comme faisant partie d'un coût généralisé avec des valeurs de temps fixées à 60 $/heure pour les voyageurs ayant un revenu élevé et 20 $/heure pour ceux ayant un faible revenu.**

- Le paramètre de la valeur d'inclusion varie entre zéro et un, ce qui implique que la structure du modèle emboîté supposée ne peut pas être rejetée.
- Comme dans le modèle de Ridout et Miller, les fréquences des modes autocar et train pour les déplacements affaires sont statistiquement non significatives. La fréquence du mode avion, représenté dans le terme de la valeur d'inclusion, a un effet important, quoiqu'indirect, sur le choix du mode pour affaires.
- Comme il est indiqué par les paramètres élevés et statistiquement significatifs des variables dichotomiques pour les trajets de moins de 250 milles, les trois modes de surface sont plus attrayants que le mode avion pour des voyages de courte distance.

Le tableau 4.12 présente le modèle de choix modal de Koppelman pour motif autre que affaires. Quelques remarques à noter de ce tableau :

- Les valeurs de temps ont été fixées avant l'estimation du modèle afin de permettre le calcul d'un coût généralisé. On a supposé dans ce cas 45 $ l'heure et 15 $ l'heure pour les voyageurs à revenu élevé et faible respectivement.

Tableau 4.12
LE MODÈLE DE CHOIX DE KOPPELMAN; DÉPLACEMENTS AUTRES QUE POUR AFFAIRES

Variables	Valeurs estimées	*t*-Statistiques
Constantes des choix		
Automobile	1,687	4,0
Autocar	0,386	0,6
Train	0,137	0,2
Niveau de service		
Coût — $	–0,00257	3,8[a]
Temps du trajet — minutes (Revenu élevé)	–0,1154	3,8[a]
Temps du trajet — minutes (Revenu faible)	–0,0385	3,8[a]
Fréquence des modes autocar et train	0,0399	1,9
Utilité classes mode avion composé	0,456	4,0
Revenu 10 000 $		
Automobile	0,0746	0,6
Autocar et train	–0,4539	2,4
Distance inférieure à 250 milles		
Automobile	1,703	3,8
Autocar et train	0,8565	1,5
Distance inférieure à 500 milles		
Automobile	1,796	3,5
Autocar et train	–0,816	1,3
Mesures de la qualité de l'ajustement		
Maximum de vraisemblance		
À parts égales	–495,6	
À parts de marché	–347,3	
À $\hat{\beta}$	–265,0	
Ratio de vraisemblance (ρ^2)		
Base parts égales	0,465	
Base parts de marché	0,235	
Nombre de cas	356	

a. **Les variables associées au temps et au coût du trajet ont été éstimées comme faisant partie d'un coût généralisé avec des valeurs de temps fixées à 45 $ l'heure pour les voyageurs ayant un revenu élevé et 15 $ l'heure pour ceux ayant un revenu faible.**

- Le paramètre associé à la fréquence pour déplacement autre que pour affaires est significatif et possède le bon signe, comme dans le modèle de Ridout et Miller.

- En plus de la catégorisation du temps de déplacement selon le revenu, celui-ci entre directement dans le modèle. Les résultats indiquent qu'une augmentation du revenu se traduit par des utilités inférieures pour l'autocar et le train et par un petit impact positif, statistiquement faible, sur les utilités du mode automobile par rapport au mode avion.

- Les effets de distance sont de nouveau captés par les variables dichotomiques. Comme dans le modèle pour motif affaires, les paramètres associés aux déplacements de courte distance (moins de 250 milles) pour les modes de surface sont relativement élevés, produisant un biais vers les modes de surface par rapport à l'avion. Le signe du paramètre s'inverse pour les modes train et autocar pour les trajets de longue distance (plus de 500 milles), mais reste fortement positif pour le mode automobile.

4.5 MODÈLES A PRÉFÉRENCES DÉCLARÉES

Des recherches considérables ont été entreprises afin de développer et d'évaluer les modèles basés sur les préférences déclarées pour modéliser la demande de transport des voyageurs. Les premiers essais dans ce domaine comprennent les travaux de Louviere et al (1981) et Louviere et Hensher (1982). Pour une étude plus récente, voir Hensher et al (1988) et Ben-Akiva et al (1990). De façon générale, les principaux avantages de l'approche fondée sur les préférences déclarées sont les suivants :

- Elle permet à l'analyste d'avoir un plus grand contrôle sur l'éventail et la combinaison des facteurs caractérisant les services auxquels sont exposés les répondants. Le chercheur peut donc disposer d'une plus grande variabilité au niveau des temps de trajet, tarifs, etc., comparativement à ce qui est possible dans le contexte des préférences révélées (dans lequel on ne peut seulement utiliser que les temps, coûts, etc., correspondant au faible nombre de paires origine-destination de l'échantillonnage). Cela veut également dire que l'on peut «briser» la corrélation élevée entre le temps et le coût qui existe souvent dans les systèmes observés, en utilisant des combinaisons non corrélées de ces variables.

- Cette approche permet aussi de tester l'attrait auprès des répondants des modes ou niveaux de service hypothétiques ou encore non existants. Cet

aspect est particulièrement important pour les applications au train à grande vitesse, car les données basées sur les préférences révélées peuvent mal représenter les biais modaux prévus pour ces services.

Cette approche comporte des inconvénients majeurs. Premièrement, elle requiert une conception très soignée de l'enquête afin d'obtenir des réponses valables. Deuxièment, certains chercheurs se posent encore des questions au sujet de la validité de cette technique, notamment le fait de savoir si l'on peut se fier aux données sur les préférences déclarées pour obtenir des estimations utiles du comportement des gens face à des choix réels au lieu de choix hypothétiques. Une recherche plus approfondie sur le sujet est bien au dessus de la porté de cette étude. Afin de continuer notre discussion, nous allons supposer que la réponse à cette question est provisoirement oui, surtout si l'on tient compte des résultats relativement prometteurs dans le domaine dont il en question ci-dessous[34].

Plusieurs modèles de demande de transport interurbain des voyageurs utilisant les préférences révélées, ont été développés. Par exemple, Louviere et Hensher (1982) ont étudié la concurrence avion-autocar pour le Mid-West des États-Unis. ainsi que le choix destination/classe tarifaire pour des déplacements en provenance de villes australiennes, par avion et pour des raisons de loisirs. Morikawa et al (1991) a étudié la combinaison des données sur les préférences révélées et les préférences déclarées dans un modèle interurbain de choix modal japonais, entre les modes train, autocar et automobile. Cette dernière étude est d'un intérêt particulier car il se peut qu'elle représente une méthode pratique d'utilisation des forces des données de type préférences révélées et préférences déclarées, tout en minimisant les faiblesses des deux approches. D'autres recherches sont nécessaires avant que l'on puisse établir l'utilité de cette approche.

Le reste de cette sous-section se concentre sur deux grandes applications pratiques de l'approche fondée sur les préférences déclarées à la modélisation de la demande de transport interurbain des voyageurs. La première de ces approches correspond au modèle COMPASS, successeur des modèles SIGNALS et HORIZONS conçus pour VIA Rail, qui les a utilisées dans ses études sur le train à grande vitesse en 1984 et 1989 respectivement. COMPASS a aussi été utilisé dans plusieurs études américaines sur des corridors de train à grande vitesse. La deuxième de ces approches correspond au modèle conçu par Charles River Associates (CRA), qui a aussi été utilisé pour des études américaines sur des corridors pour des trains à grande vitesse.

Ces deux approches de modélisation sont examinées dans les sous-sections 4.5.1 et 4.5.2.

4.5.1 SIGNALS, HORIZONS, COMPASS : Évolution de l'approche selon les préférences déclarées et système de modélisation d'ensemble

SIGNALS, HORIZONS, et COMPASS représentent trois générations correspondant essentiellement au même type de conception de modèle. Le modèle SIGNALS, première génération de ce type de modèles et propriété de la compagnie Transmark (les consultants de «British Rail»), a été utilisé conjointement avec PERAM par VIA Rail dans son étude de 1984 sur le train à grande vitesse. SIGNALS est, des trois modèles, celui qui est le moins bien documenté[35]. Ce modèle a été largement supplanté, dans les applications canadiennes, par les deux autres modèles. Le reste de cette sous-partie est consacré aux modèles HORIZONS et COMPASS.

HORIZONS est le modèle qui correspond à la deuxième génération. Il a été conçu par Cole, Sherman et Associates Enr. pour être utilisé dans l'étude de VIA de 1989. COMPASS est la troisième et plus récente version de ce système de modélisation. Il est la propriété de Transportation and Economic Management Systems, Inc. (TEMS) et a été appliqué dans plusieurs études récentes sur les corridors pour trains à grande vitesse aux États-Unis. Le lien entre ces trois modèles est qu'ils ont tous le même auteur principal (Alex Metcalfe) et que chaque modèle subséquent tient compte des connaissances acquises des modèles antérieurs, en termes de l'amélioration des méthodes et en termes de l'incorporation des données et des relations empiriques des modèles précédents dans les versions subséquentes.

COMPASS[36] : COMPASS est un système de modélisation multimodal (avion, train, autocar, automobile) qui contient quatre composantes majeures, traitant de la demande totale des voyageurs par tous les modes (en fonction des facteurs socio-économiques); la demande induite (générée par des changements dans les niveaux de service des modes); répartition modale; et «rente économique» (traitant de l'impact des changements des niveaux de service sur la valeur des propriétés, le revenu, l'emploi, etc., dans des zones desservies par le système de transport interurbain). C'est un logiciel pour PC écrit en C, conçu pour fournir une plate-forme de modélisation grâce à laquelle on peut tester différents types de modèles et d'hypothèses, à partir d'une même base de données de variables socio-économiques et de réseau.

Le modèle de répartition modale, utilisé à l'intérieur de ce système de modélisation, se caractérise par une structure de décisions hiérarchisées dans laquelle la demande totale est d'abord répartie entre le mode auto et les modes de transport publics. La demande de transport public est par la suite répartie entre le mode aérien et les modes de surface. La demande de transport des modes de surface est alors séparée entre le train et l'autocar. À chaque étape on estime un modèle logit binaire dont la forme générale est :

$$P_{ijp1} = 1/(1 + \exp\{-[B_{0p} + B_{1p} f(GC_{ijp1}, GC_{ijp2})]\}) \qquad [4.14]$$

où :

P_{ijp1} = probabilité de sélectionner le choix «1» parmi l'ensemble des choix {1, 2} (où, par exemple, le choix 1 peut être le mode automobile et le choix 2 serait alors le mode transport public) pour la paire origine-destination *ij* pour le motif *p*

GC_{ijpm} = «coût généralisé» du voyage par mode *m* pour le motif *p* et pour la paire origine-destination *ij*

$f(\ )$ = soit la différence entre les coûts généralisés pour les deux choix (le choix 1 moins le choix 2) soit le ratio des coûts généralisés (le choix 1 divisé par le choix 2)

B_{0p}, B_{1p} = paramètres du modèle pour le motif de déplacement *p*

Les paramètres du modèle sont estimés en régressant la forme linéarisée de l'équation [4.14] :

$$\log_e(P_{ijp1}/P_{ijp2}) = B_{0p} + B_{1p} f(GC_{ijp1}, GC_{ijp2}) \qquad [4.15]$$

Les coûts généralisés pour les choix combinés (par exemple, pour les modes de transport public), sont construits en pondérant les coûts généralisés de chacun des choix compris dans le choix combiné.

Le coût modal généralisé est défini comme étant égal à :

$$GC_{ijpm} = TT_{ijm} + TC_{ijpm}/VOT_{pm} + (VOF_{mp} * OH)/(VOT_{pm} * F_{ijm}) \qquad [4.16]$$

où :

TT_{ijm} = temps de trajet total de *i* vers *j* par le mode *m*, en incluant les temps «hors-du-véhicule» (d'accès/sortie, d'attente, etc.) pondérés par un facteur égal à deux, représentant la désutilité additionnelle associée à ces attributs du voyage.

TC_{ijm} = coût total du voyage (incluant les coûts d'accès/sortie) pour le mode *m* de *i* vers *j*

F_{ijm} = fréquence de *i* vers *j* par le mode *m* (départs par semaine)

OH = nombre d'heures de service par semaine

VOT_{pm} = valeur du temps du mode *m* pour le motif *p*

VOF_{mp} = valeur de la fréquence du mode *m* pour le motif *p*

Les valeurs du temps et de la fréquence sont dérivées des données rassemblées à partir d'une enquête «attitudinale» concernant les voyageurs interurbains, enquête segmentée selon le motif du déplacement, le mode, la distance (courte/longue) et le revenu (élevé/faible). Cette enquête attitudinale a été conçue afin d'obtenir les préférences déclarées des répondants par rapport au choix du mode en fonction des attributs de divers modes. Deux méthodes sont utilisées pour évaluer les VOT et VOF à partir de ces données. La première méthode (Méthode 1) est appelée la «méthode de comparaison». Dans cette méthode, la VOT (VOF) à partir de laquelle un individu change de préférence entre le choix caractérisé par un coût plus élevé et un temps de trajet plus faible, (des fréquences plus élevées) et le choix caractérisé par des coûts inférieurs, est utilisée pour définir la VOT(VOF). La deuxième méthode (Méthode 2) implique l'estimation de modèles logit binaires, et les VOT et VOF sont dérivées à partir des coefficients estimés.

Dans le tableau 4.13, on retrouve les résultats du calcul de la valeur du temps correspondant aux deux méthodes, pour le corridor Trois-États (Chicago-Milwaukee-Twin Cities). Dans le tableau 4.14, on compare les valeurs du temps obtenues pour le corridor Trois-États à celles obtenues dans les études concernant d'autres corridors. Les promoteurs de ce modèle suggèrent que

les valeurs du temps élevées du corridor Trois-États reflètent les distances de trajet plus longues de ce corridor. Le tableau 4.15 donne des informations additionnelles sur les VOT/VOF concernant l'étude Trois-États.

Tableau 4.13
COMPARAISON DES VOT, MODÈLE TROIS-ÉTATS COMPASS

	N° de relevés valides		VOT ($ 1990/heure)	
Mode/Motifs	**Méthode 1**	**Méthode 2**	**Méthode 1**	**Méthode 2**
Avion/Affaires	183	77	64,8	66,6
Avion/Autre	270	97	34,0	41,9
Train/Affaires	63	24	39,9	45,1
Voyages longs[a]	14[b]	8[b]	44,5	39,8
Voyages courts	49	16[b]	38,6	47,7
Train/Autre	207	115	28,0	32,8
Voyages longs	149	101	31,0	37,4
Voyages courts	58	14[b]	20,1	30,0
Autocar/Autre	145	64	21,8	31,7
Voyages longs	72	48	28,5	34,2
Voyages courts	73	16[b]	15,1	24,1
Auto/Affaires	54	36	43,0	44,2
Voyages longs	35	23[b]	46,3	47,4
Voyages courts	19[b]	13[b]	37,1	38,5
Auto/Navette	142	50	21,3	30,3
Voyages longs	6[b]	3[b]	25,7	47,4
Voyages courts	136	47	20,9	29,3
Auto/Autre	377	200	25,8	37,4
Voyages longs	221	145	32,3	37,4
Voyages courts	156	55	16,9	37,1

a. Les voyages longs sont de plus de 100 milles et les courts sont de 100 milles ou moins.
b. Moins de 30 relevés valides.

Finalement, le tableau 4.16 donne les résultats des estimations des trois modèles logit binaires développés pour le corridor Trois-États. Remarquons, qu'à l'exception du modèle avion-surface pour motif affaires, les modèles en différences génèrent, de manière cohérente, des valeurs plus élevées du R^2 que les modèles en ratio correspondants. Il s'agit, vraisemblablement, d'un résultat encourageant, en ce sens que la formulation du modèle en termes de différences est cohérente avec sa dérivation[37] à partir de la théorie de l'utilité aléatoire, alors que la formulation en ratios est une approche beaucoup plus *ad hoc*. Notons aussi que la colonne correspondant au biais, dans chaque partie de ce tableau, indique le pourcentage des déplacements dont le modèle prédit qu'ils se feront par le mode indiqué

lorsque le coût généralisé du mode et de son alternative sont égaux. Le fait que ce pourcentage soit en grande mesure inférieur à 50 pour cent souligne l'existance d'effets de facteurs autres que le coût généralisé sur le choix donné, qui ne sont pas saisis de façon explicite dans le modèle, excepté par la constante (par exemple, le confort et l'intimité du mode automobile).

Tableau.4.14

COMPARAISON DE VOT, CHOIX DE CORRIDORS[a]

	Trois-États (430 milles)	New York[b] (310 milles)	Ontario-Québec[c] (180-300 milles)	Illinois[d] (200-300 milles)
Valeurs du temps ($1990/heure)				
Avion				
Affaires	64	51	58	54
Autre que affaires	34	32	32	19
Train				
Affaires	40	26	25	28
Autre que affaires	28	21	19	13
Automobile				
Affaires	43	26	25	23
Autre que affaires	26	26	18	13
Autocar				
Affaires	25	—	17	—
Autre que affaires	22	32	12	—
Valeurs de la fréquence ($1990/heure)				
Avion				
Affaires	33	24	31	11
Autre que affaires	22	3	21	7
Train				
Affaires	18	11	15	6
Autre que affaires	16	8	11	4
Automobile				
Affaires	—	17	18	7
Autre que affaires	—	14	12	6
Autocar				
Affaires	16	—	13	—
Autre que affaires	13	10	9	—

a. Afin de faciliter la comparaison avec l'étude Trois-États, les valeurs dérivées pour les autres trois corridors ont été évaluées en dollars de 1990.
b. Rensselaer Polytechnic/Cole, Sherman Inc.
c. Consumer Contact Ltd./Cole, Sherman Inc.
d. British Rail

Tableau 4.15

VOT DÉTAILLÉES, RÉSULTATS DES VOF, MODÈLE TROIS-ÉTATS COMPASS

(a) Résumé des arbitrages entre VOT et VOF				
	Avion	**Train**	**Autocar**	**Automobile**
Valeur du temps ($ 1990/heure)				
Affaires	64,8	39,9	25,4[a]	43,0
Navette	50,9[a]	27,0	13,7[a]	21,3
Autre	34,0	28,0	21,8	25,8
Valeur du temps ($ 1990/heure)				
Affaires	33,4	17,7	15,5[a]	—
Navette	27,7[a]	16,1	10,9[a]	—
Autre	22,0	16,1	13,0	—

(b) Résultats des arbitrages entre VOT et VOF selon la longueur du voyage[b]							
	Avion	**Train**		**Autocar**		**Automobile**	
		Long	**Court**	**Long**	**Court**	**Long**	**Court**
Valeur du temps ($ 1990/heure)							
Affaires	64,8	44,5 (14)[d]	38,6	NI[c]	NI	46,3	37,1 (7)
Navette	NI	NI	27,0	NI	13,7 (7)	25,7	20,9
Autre	34,0	31,0	20,1	28,5	15,1	32,3	16,9
Valeur de la fréquence ($ 1990/heure)							
Affaires	33,4	18,2 (13)	17,5	NI	NI	—	—
Navette	NI	NI	16,1 (21)	NI	10,0 (7)	—	—
Autre	22,0	17,8	11,7	15,1	10,9	—	—

Tableau 4.15 (suite)

VOT DÉTAILLÉES, RÉSULTATS DES VOF, MODÈLE TROIS-ÉTATS COMPASS

(c) Résumé des arbitrages entre VOT et VOF selon le groupe de revenu[e]								
	Avion		Train		Autocar		Automobile	
	Élevé	Faible	Élevé	Faible	Élevé	Faible	Élevé	Faible
Valeur du temps ($ 1990/heure)								
Affaires	73,7	55,6	45,7 (27)[d]	35,0	NI[c]	21,6	44,9 (22)	41,7
Navette	NI	NI	NI	NI	26,8 (28)	20,2	NI	NI
Autre	36,4	32,0	30,2	26,9	29,5	25,5	21,8 (21)	22,4
Valeur de la fréquence ($ 1990/heure)								
Affaires	35,4	32,6	19,9 (27)	NI	NI	NI	—	—
Navette	25,9	20,3	14,5	11,4 (20)	11,4 (20)	13,5	—	—

a. **Les cellules non identifiées originellement pour l'analyse.**
b. **«Long» indique des déplacements de longue distance de plus de 100 milles, et «court» indique des déplacements de courte distance de 100 milles ou moins.**
c. **«NI» veut dire «non inclus» et indique des cellules exclues délibérément de l'enquête et de l'analyse des arbitrages car elles correspondaient à un groupe trop petit pour affecter l'analyse.**
d. **Les cellules avec des nombres entre parenthèses avaient moins de 30 relevés valides; le nombre donné entre parenthèses correspond au nombre réel de relevés.**
e. **«Élevé» désigne les ménages dont le revenu est de 60 000 $ par an ou plus, et «faible» désigne les ménages dont le revenu est inférieur à 60 000 $ par année.**

Tableau 4.16
RÉSULTATS DE L'ESTIMATION DU MODÈLE TROIS-ÉTATS COMPASS

Motif	Modèle	B_{0p}	B_{1p}	r^2	Biais (%)
(a) Modèle de répartition modale, coefficients; public et auto (Biais auto)					
Affaires	Ratio	1,747 (12)	−1,941 (−17)	0,58	5
	Difference	−0,120 (−14)	−0,010 (−14)	0,79	3
Navette	Ratio	0,922 (8)	−1,203 (−12)	0,36	7
	Difference	−0,161 (−13)	−0,007 (−18)	0,60	4
Autre	Ratio	−0,378 (−14)	−0,866 (−16)	0,35	12
	Difference	−0,279 (−17)	−0,002 (−23)	0,63	7
(b) Modèle de répartition modale, coefficients; surface et avion (Biais avion)					
Affaires	Ratio	2,795 (20)	−3,894 (−17)	0,67	25
	Difference	−0,840 (−15)	−0,006 (−14)	0,62	20
Navette	Ratio	4,122 (—)	−4,241 (—)	—	3
	Difference	−0,000 (—)	−0,005 (—)	—	0
Autre	Ratio	4,122 (11)	−4,241 (−10)	0,66	3
	Difference	−0,000 (−16)	−0,005 (−13)	0,70	0
(c) Modèle de répartition modale, coefficients; train et autocar (Biais train)					
Affaires	Ratio	7,858 (7)	−6,019 (−3)	0,66	36
	Difference	2,110 (5)	−0,009 (−7)	0,82	39
Navette	Ratio	7,739 (4)	−7,066 (−4)	0,36	16
	Difference	0,631 (5)	−0,008 (−5)	0,41	15
Autre	Ratio	5,583 (4)	−5,137 (−6)	0,62	11
	Difference	0,382 (7)	−0,007 (−4)	0,64	9

HORIZONS[38] : Deux versions du modèle HORIZONS ont été développées lors de «L'Étude du transport ferroviaire au Canada» de 1989. Le modèle intérimaire (HORIZONS I) utilisait la méthode de modélisation de la répartition modale du modèle COMPASS décrite ci-dessus; c'est à dire, des modèles binaires séquentiels, avec des coûts généralisés moyens pondérés, utilisés à chaque niveau, afin de représenter le niveau de service associé au niveau inférieur suivant, dans l'arbre décisionnel. Le tableau 4.17 présente les estimés des paramètres obtenus avec cette version du modèle, en utilisant la base de données développée pour cette étude, pour le corridor Québec-Windsor.

Cependant, on peut critiquer l'utilisation de coûts généralisés moyens pondérés pour représenter les attributs des services de niveau inférieur car c'est en dernier lieu, une formulation *ad hoc*, non conforme à la théorie de l'utilité aléatoire. De plus la théorie de l'utilité aléatoire permet la spécification explicite de ce que devrait être le terme du service représentatif. C'est le terme du modèle logit emboîté étudié dans la sous-section 4.4.6, appelé

«valeur d'inclusion» ou «logsomme» ("logsum"). L'utilisation de la valeur d'inclusion comme mesure du service de niveau inférieur représentatif requiert l'usage de la forme en différences du modèle car elle représente la seule version mathématiquement et théoriquement cohérente avec l'utilisation de ce terme.

Tableau 4.17
RÉSULTATS DE L'ESTIMATION DU MODÈLE HORIZONS INTÉRIMAIRE

(a) Coefficients du modèle de répartition modale; Public et auto						
Motif	**Modèle**	B_{0p}	B_{1p}		r^2	**% Public**
Affaires	Ratio	1,0708	−1,3478	(131)	0,77	43
	Diff	0,3130	−0,0134	(89)	0,60	57
Navette	Ratio	0,5268	−1,1301	(85)	0,70	35
	Diff	−2,4101	−0,0074	(18)	0,09	8
Tourisme/	Ratio	−0,1851	−0,8144	(82)	0,52	27
Autres	Diff	−1,8588	−0,0030	(17)	0,04	13
(b) Coefficients du modèle de répartition modale; Surface et avion						
Motif	**Modèle**	B_{0p}	B_{1p}		r^2	**% Surface**
Affaires	Ratio	3,7857	−4,2083	(159)	0,80	40
	Diff	−0,4648	−0,0082	(142)	0,76	39
Navette	Ratio	7,1092	−5,7602	(60)	0,72	79
	Diff	1,0696	−0,0117	(73)	0,81	74
Tourisme/	Ratio	7,4604	−6,1532	(87)	0,60	79
Autres	Diff	1,3436	−0,0076	(90)	0,61	79
(c) Coefficients du modèle de répartition modale; Train et autocar						
Motif	**Modèle**	B_{0p}	B_{1p}		r^2	**% Rail**
Affaires	Ratio	6,6641	−4,6676	(16)	0,51	88
	Diff	1,6535	−0,0085	(14)	0,45	84
Navette	Ratio	5,2573	−5,0354	(9)	0,39	56
	Diff	−0,1252	−0,0073	(9)	0,40	47
Tourisme/	Ratio	3,8830	−3,9581	(30)	0,43	48
Autres	Diff	−0,0169	−1,0070	(34)	0,49	49

De plus, on a pensé être en mesure de saisir les différences structurelles inter et intra-provinciales de l'utilisation des modes, en utilisant deux variables dichotomiques. Ces deux variables, I_O et I_Q étaient égales à un lorsqu'il s'agissait d'un voyage intra-provincial en Ontario et à Québec respectivement. La version finale du modèle, ou HORIZONS II, se caractérisait par l'introduction de ces variables dichotomiques provinciales et par l'utilisation du terme d'inclusion décrit auparavant. Le tableau 4.18 présente les résultats de la version finale du modèle. Les points à noter dans ce tableau sont les suivants :

- La comparaison des valeurs des R^2 du modèle final à celles du modèle intérimaire (tableau 4.17), nous permet de remarquer que la qualité de l'ajustement s'est grandement améliorée par rapport aux modèles intérimaires en différences (qui généralement se caractérisaient par des valeurs plutôt faibles, correspondant à la qualité de l'ajustement). Ces mêmes remarques s'appliquent aux modèles intérimaires en ratios (qui avaient tendance à surclasser les modèles intérimaires en différences mais avec qui on obtenait, de manière cohérente, des valeurs inférieures par rapport au modèle final).
- Quelques unes des valeurs ϕ estimées sont supérieures à 1,0 ce qui indique sans doute que la structure de décision est mal spécifiée. Dans de tels cas, on devrait idéalement étudier des structures de décision de rechange. Par exemple, l'autocar devrait peut-être être séparé des deux autres modes de niveau supérieur (soient l'avion et le train). Il ne semble pas que l'on ait étudié ce type de structures.
- Il est intéressant de noter que la valeur de ϕ pour le modèle mode public par rapport au mode privé pour les navetteurs est essentiellement égale à 1,0. Ceci implique qu'un modèle combiné pourrait remplacer le modèle logit emboîté supposé; c'est à dire qu'un modèle logit multinomial simple, défini pour les modes automobile et transport public, fonctionnerait aussi bien. Ce résultat valide l'approche adoptée, étant donné que le marché des navetteurs s'approche vraisemblablement, du point de vue des caractéristiques, du marché intra-urbain, et que le modèle logit multinomial semble, dans ce cas, assez bien fonctionner.

Le tableau 4.19 présente les comparaisons des résultats des prévisions du modèle intérimaire par rapport aux prévisions du modèle final (avec et sans les variables dichotomiques caractérisant les provinces) pour deux parcours. Nous pouvons voir dans ce tableau que le remplacement du coût généralisé moyen pondéré par le terme logsomme aboutit à un transfert significatif au niveau de l'utilisation prédite du mode automobile vers les modes de transport public. Notons que la majorité de ce transfert se fait vers le mode train. L'impact des variables dichotomiques provinciales est moins dramatique mais encore perceptible. Dans ce cas, elles dégonflent la part prédite du mode train d'à peu près 10 pour cent. L'effet final de ces deux changements constituent un modèle de répartition modale final pour le marché interprovincial Toronto-Montréal qui n'est pas très différent des résultats obtenus dans le modèle intérimaire (par exemple, part du mode train de 45,4 pour cent par rapport à 42 pour cent) alors que les résultats du

modèle intra-provincial final sont considérablement différents de ceux obtenus dans le modèle intérimaire (par exemple, une part finale du mode train de 28,5 pour cent pour le parcours Toronto-Ottawa par rapport à 20,5 pour cent dans le modèle intérimaire).

Tableau 4.18
RÉSULTATS DE L'ESTIMATION DU MODÈLE HORIZONS FINAL

		r^2
I. Équations de répartition modale		
	Niveau du train et autocar	
Affaires	$\ln(P_{train}/P_{autocar}) = 3.092 + \underset{(2.3)}{0.420}I_O - \underset{(12)}{1.620}I_Q - \underset{(7)}{0.00541}GC_{train} + \underset{(4)}{0.00286}GC_{autocar}$	0.73
Navette	$\ln(P_{train}/P_{autocar}) = 1.594 - \underset{(36)}{0.00724}GC_{train} + \underset{(24)}{0.00724}GC_{autocar}$	0.91
Autre	$\ln(P_{train}/P_{autocar}) = -0.249 + \underset{(6)}{0.442}I_O - \underset{(27)}{1.588}I_Q - \underset{(14)}{0.00241}GC_{train} + \underset{(14)}{0.00227}GC_{autocar}$	0.69
	Niveau surface et avion	
Affaires	$\ln(P_{sur}/P_{avion}) = -10.177 + \underset{(9)}{0.220}I_O + \underset{(143)}{3.328}I_Q + \underset{(145)}{1.444}U_{sur} + \underset{(92)}{0.0171}GC_{avion}$	0.87
Navette	$\ln(P_{sur}/P_{avion}) = -8.867 + \underset{(11)}{1.585}I_O + \underset{(10)}{1.511}I_Q + \underset{(52)}{0.582}U_{sur} + \underset{(101)}{0.0199}GC_{avion}$	0.90
Autre	$\ln(P_{sur}/P_{avion}) = -4.850 + \underset{(54)}{1.983}I_O + \underset{(93)}{2.710}I_Q + \underset{(54)}{1.677}U_{sur} + \underset{(42)}{0.00807}GC_{avion}$	0.72
	Niveau public et privé	
Affaires	$\ln(P_{pub}/P_{auto}) = -8.105 + \underset{(13)}{0.698}I_O + \underset{(42)}{2.306}I_Q + \underset{(74)}{0.893}U_{pub} + \underset{(128)}{0.0146}GC_{auto}$	0.83
Navette	$\ln(P_{pub}/P_{auto}) = -6.782 + \underset{(11)}{1.134}I_O + \underset{(9)}{0.849}I_Q + \underset{(58)}{1.079}U_{pub} + \underset{(101)}{0.0291}GC_{auto}$	0.84
Autre	$\ln(P_{pub}/P_{auto}) = -3.957 + \underset{(3)}{0.143}I_O + \underset{(49)}{1.958}I_Q + \underset{(78)}{0.722}U_{pub} + \underset{(99)}{0.0101}GC_{auto}$	0.69
II. Équations de demande totale		
Affaires	$\ln(\text{voyages}) = -15.775 - \underset{(0.9)}{0.230}I_O + \underset{(7)}{2.013}I_Q + \underset{(21)}{1.647}U_{TOT} + \underset{(11)}{1.036}\ln(\text{emp}*\text{inc})$	0.77
Navette	$\ln(\text{voyages}) = -15.756 - \underset{(0.9)}{0.346}I_O - \underset{(0.8)}{0.369}I_Q + \underset{(19)}{0.732}U_{TOT} + \underset{(8)}{1.077}\ln(\text{emp}*\text{inc})$	0.75
Autre	$\ln(\text{voyages}) = -14.759 + \underset{(1.6)}{0.306}I_O + \underset{(8)}{1.731}I_Q + \underset{(27)}{0.907}U_{TOT} + \underset{(12)}{1.043}\ln(\text{emp}*\text{inc})$	0.85

Nota : ***t*-statistiques entre parenthèses.**

Tableau 4.19

COMPARAISON DU MODÈLE HORIZONS INTÉRIMAIRE ET FINAL; RÉSULTATS DES PRÉVISIONS

Stratégie : Fréquence du mode train de 24 trains par jour uni-direction.
Temps en véhicule du mode train réduit de moitié.
Les autres modes ne sont pas modifiés.
Date de mise en oeuvre — 1987.

Modèle	Part de marché prédite (%)							
	Toronto-Ottawa				Toronto-Montréal			
	Train	Avion	Auto	Autocar	Train	Avion	Auto	Autocar
Année de base	4,1	22,7	64,0	9,2	14,8	39,2	41,3	4,7
Modèle HORIZONS intérimaire (avec pondération de l'année de base)	20,5	14,5	61,4	3,7	42,0	21,6	33,2	3,2
Approche utilité Logsomme	31,6	15,6	46,1	6,7	51,1	22,7	23,0	3,1
Modèle Logsomme avec indicateurs provinciaux	28,5	15,5	47,2	8,8	45,4	25,0	26,2	3,5

Finalement, nous trouvons dans le tableau 4.20 les valeurs du temps, les fréquences et «la fiabilité», évaluées pour le corridor Québec-Windsor à partir de l'enquête attitudinale/analyse des arbitrages décrites dans le modèle COMPASS. Si on fait la moyenne des deux méthodes d'évaluation nous obtenons les valeurs du tableau 4.21, valeurs qui sont comparées avec des résultats similaires obtenus dans d'autres corridors de transport interurbain des voyageurs en Amérique du Nord.

Tableau 4.20

Valeur du temps fréquence et fiabilité, modèle HORIZONS (1988 $Can/heure)

	Affaires		Navette		Agrément		Autre motif	
	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 1	Méthode 2
	Valeur du temps							
Train	25,2	40,4	17,8	24,0	19,6	26,9	16,0	23,4
Avion	62,4	69,0	53,5	44,7	26,4	32,3	24,1	30,4
Auto-car	21,6	14,8	12,8[a]	11,0[a]	11,1	18,2	10,5	15,9
Auto	25,8	30,2	13,2	24,1	16,4	23,4	15,6	21,4
	Valeur de la fréquence							
Train	15,0	18,7	8,2	13,5	12,0	15,5	8,5	14,5
Avion	31,7	36,4	19,8	30,7[a]	20,7	25,8	17,2	23,9
Auto-car	13,1	15,4	7,0[a]	7,4[a]	7,9	12,7	7,0	13,4
Auto	14,5	18,0	7,8	13,8	10,2	13,6	9,0	13,5
	Valeur de la fiabilité							
Train	49,8	64,9	29,4	48,4	30,6	61,2	30,6	57,5
Avion	72,0	86,0	39,0	31,9[a]	46,2	58,7	42,6	56,4
Auto-car	46,8	56,0	23,4[a]		31,8	53,4	26,4	50,1
Auto	44,4	58,6	27,0		30,0	51,0	31,8	53,7

a. **Moins de cinq relevés valides dans la cellule.**

Tableau 4.21

Comparaison des valeurs du temps et de la fréquence (1988 $Can/heure)

	V.O.T.				V.O.F.			
	Ont./Qc	N.Y.	Ill.	Ohio	Ont./Qc	N.Y.	Ill.	Ohio
Train								
Affaires	27,8	28,9	30,6	—	16,9	11,9	6,4	—
Autre que affaires	21,3	23,4	14,6	—	12,0	8,0	4,6	—
Avion								
Affaires	65,7	56,6	59,8	29,6	34,1	26,5	12,6	10,9
Autre que affaires	35,2	35,7	20,4	24,4	23,0	3,1	7,9	8,2
Autocar								
Affaires	18,2	—	—	—	14,3	—	—	—
Autre que affaires	13,3	35,7	—	11,9	9,2	10,6	—	5,5
Automobile								
Affaires	28,0	29,5	25,5	17,8	16,3	14,6	6,3	6,2
Autre que affaires	19,0	29,5	15,3	14,8	11,3	13,3	4,1	4,5

Nota : Les valeurs des études précédentes ont été ajustées pour tenir compte de l'inflation en utilisant des valeurs publiées du IPC et, au besoin, converties en dollars canadiens en utilisant 1,00 $ US = 1,23 $ CAN.

4.5.2 Le modèle CRA[39]

Le développement du modèle de Charles River Associates (CRA) se base sur les observations suivantes :

- Comme nous l'avons plusieurs fois fait remarquer, l'hypothèse de l'élasticité croisée constante du modèle logit multinomial simple ne semble pas être très réaliste pour l'étude du choix modal interurbain. Il est fort improbable que l'introduction d'un train à grande vitesse, par exemple, attire les mêmes proportions de voyageurs des modes concurrents.
- Brand et al (1991) soutiennent que les modèles logit emboîtés ne solutionnent pas le problème de manière satisfaisante, étant donné qu'ils supposent encore des élasticités croisées constantes à *l'intérieur* d'un certain niveau de la structure de décision (par exemple, dans la formulation des modèles HORIZONS/COMPASS, entre les modes aérien et de surface).
- On observe généralement que les usagers des modes automobile, avion et autocar possèdent des valeurs de temps, de fréquences, etc., très différentes (comparer les tableaux 4.11, 4.20, etc.). Nous pouvons donc nous attendre à ce que les usagers actuels de *chacun* de ces modes, soient détournés vers le mode train selon divers changements au niveau du service du mode train (c'est à dire, des combinaisons temps-coût-fréquence). De plus, la nature des valeurs de temps, d'élasticités, etc., des voyageurs, sont révélées puisque nous observons (ou prédisons pour le mode prévu) leur choix de mode. Nous savons ainsi que les usagers de l'auto seront assez sensibles aux variations du coût mais relativement insensibles aux variations de la durée du voyage (et sensibles à des facteurs tels que la flexibilité des départs, la possibilité de transporter des bagages, etc.). Ils se tourneront donc vraisemblablement davantage vers des options à prix modéré du mode train que vers des options plus dispendieuses. Les voyageurs par avion sont, au contraire, plus sensibles aux variations du temps et moins sensibles aux variations du coût et donc réagiront plus à des changements de la durée de déplacement du mode train qu'aux changements du tarif. Ainsi, une approche qui saisit directement ces arbitrages dans ces différents sous marchés sera sans doute meilleure qu'une approche qui ne saisirait que la réponse moyenne du marché agrégé.

Compte tenu de ces observations, le modèle CRA utilise des modèles de demande «directe» afin de prédire les flux origine-destination par mode, pour le mode avion, le mode automobile et le mode autocar (si disponible), en

l'absence d'un train à grande vitesse. Les modèles logit binaires sont alors utilisés pour prévoir le transfert des déplacements de chacun de ces modes vers le train à grande vitesse, en supposant l'introduction de ce mode (les déplacements induits du train à grande vitesse sont générés séparément, en utilisant les relations de comportement identifiées dans les modèles de demande directe et de répartition modale). En d'autres termes, on utilise trois modèles logit afin d'estimer la concurrence train-automobile, train-avion et train-autocar.

Les méthodes d'enquête sur les préférences déclarées au sujet des choix du mode sont utilisées pour déterminer les arbitrages faits par les usagers entre l'automobile, avion et l'autocar, concernant les attributs de ces modes et les attributs qui caractérisent le train à grande vitesse et qui sont nécessaires à l'estimation des paramètres du modèle logit. Les résultats de l'estimation des modèles se trouvent au tableau 4.22. Chaque modèle contient un terme pour le coût, un autre pour le temps en plus d'une constante pour le train à grande vitesse. La probabilité qu'un voyageur choisisse donc le train à grande vitesse, dans ce modèle, étant donné le mode original m et le motif de déplacement *p*, est égal à :

$$P_{\mathrm{HSR}\,|\,mp} = \frac{\exp\left(\alpha_{mp} + \beta_{mp} C_{\mathrm{HSR}} + \gamma_{mp} T_{\mathrm{HSR}}\right)}{\exp\left(\alpha_{mp} + \beta_{mp} C_{\mathrm{HSR}} + \gamma_{mp} T_{\mathrm{HSR}}\right) + \exp\left(\alpha_{mp} + \beta_{mp} C_{m} + \gamma_{mp} T_{m}\right)} \qquad [4.17]$$

où :

C_k = coût du trajet pour le mode k (k = HSR, m)

T_k = temps de déplacement composé pour le mode k (k = HSR, m)

α_{mp} = constante du train à grande vitesse, mode original m, motif de déplacement p

β_{mp}, γ_{mp} = coefficients du temps et du coût, mode original m, motif de déplacement p

Tableau 4.22
RÉSULTATS DE L'ESTIMATION DU MODÈLE CRA

	Avion Affaires	Avion Autre que affaires	Automobile Affaires	Automobile Autre que affaires
	Coefficients[b]			
Coût (1990 $)	–0.0379 (–4.5)	–0.0609 (–4.2)	–0.0283 (–2.2)	–0.0321 (–3.3)
Temps composite (heures)[a]	–1.3444 (–6.4)	–1.723 (–5.3)	–0.5636 (–3.4)	–0.2817 (–2.5)
Constant du train à grande vitesse	–0.0599 (–0.4)	0.3326 (1.7)	–0.771 (–1.2)	–1.1967 (–2.3)

a. **Temps de trajet composite = (temps en véhicule) + 0,667(temps d'accès + sortie) + 0,5(temps d'attente).**

Nota : Les chiffres entre parenthèses sont les *t*-statistiques.

Les tableaux 4.23 et 4.24 présentent les valeurs du temps et les élasticités directes du train à grande vitesse évaluées à partir du modèle calibré récemment pour le «triangle du Texas» (Dallas-Houston-Austin-San Antonio). Dans le tableau 4.23, nous retrouvons les valeurs de temps désagrégées selon les modes courants (l'avion et l'auto car l'autocar n'est pas important dans ce marché), le motif du déplacement (affaires, autre que affaires) et les composantes du temps (temps en véhicule et d'accès/sortie). Il est intéressant de noter que les valeurs du temps d'accès/sortie sont *moindres* que celles correspondant au temps en véhicule, contrairement au cas urbain typique (contrairement également aux suppositions des modèles HORIZONS/COMPASS). Brand et al (1991) ont observé que le cas interurbain diffère du cas urbain dans le fait qu'il existe une concurrence au niveau des temps en véhicule. De plus, les deux composantes du temps sont significativement différentes en terme de l'échelle de chacune des composantes, particulièrement si la longueur du voyage augmente. On soutient que ces deux facteurs contribuent au fait que les voyageurs accordent une plus grande importance au temps en véhicule qu'au temps d'accès/sortie.

Les élasticités du tableau 4.24 sont évaluées pour le parcours Houston-Dallas, en se basant sur des gares hypothétiques au centre ville et sur un tarif pour le mode train égal à deux tiers du tarif aérien. L'élasticité du mode avion, pour motif affaires, égale à -0,86, augmente au dessus de 1,0 en valeur absolue lorsque le tarif du mode train est le même que le tarif aérien. De façon similaire, l'élasticité du mode avion pour motif autre que affaires augmente

à une valeur de -1,0 lorsque le tarif du mode train est égal à 90 pour cent du tarif autre que affaires du mode avion. Réciproquement, les usagers du mode auto sont déjà marginalement élastiques par rapport au prix égal à deux tiers de la valeur du tarif du mode avion. Notons finalement la non-élasticité relative dans ce modèle, par rapport au temps d'accès/sortie du mode train, pour les voyages de 240 milles (340 km) analysés.

Tableau 4.23
VALEURS DU TEMPS DE TRAJET SELON LE MODE ET LE MOTIF DU DÉPLACEMENT AU TEXAS (DOLLARS PAR HEURE EN DOLLARS US 1990), MODÈLE CRA

	Motif du déplacement			
	Affaires		Autre que affaires	
Mode	**Temps en véhicule**	**Temps accès/ sortie**	**Temps en véhicule**	**Temps accès/ sortie**
Avion				
Valeur du temps	35$	24$	28$	19$
(Proportion du taux de salaire à l'heure)	(1,3)	(0,9)	(1,5)	(1,0)
Automobile				
Valeur du temps	20$	13$	9$	6$
(Proportion du taux de salaire à l'heure)	(1,0)	(0,7)	(0,5)	(0,3)

Tableau 4.24
ÉLASTICITÉS DU TRAIN À GRANDE VITESSE SELON LE MODE ET LE MOTIF DU DÉPLACEMENT AU TEXAS, MODÈLE CRA

	Élasticités HST[a]		
Mode et motif du déplacement	**Temps en véhicule**	**Temps accès/sortie**	**Tarif**
Avion			
Affaires	–0,86	–0,36	–0,81
Autre que affaires	–0,85	–0,37	–0,74
Automobile			
Affaires	–0,61	–0,21	–1,02
Autre que affaires	–0,38	–0,14	–1,05

a. **Calculées pour des caractéristiques entre Houston et Dallas supposant que les tarifs du train à grande vitesse sont égaux à deux tiers du tarif de l'avion.**

5. RÉSUMÉ, CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

5.1 INTRODUCTION

Dans cette partie nous résumons les analyses présentées dans les parties précédents selon les thèmes suivants :

- résultats en termes d'élasticités de la demande, valeurs du temps, etc., et leur implication par rapport à la substitution modale;
- résultats concernant le choix de la forme fonctionnelle et l'approche de modélisation; et
- suggestions concernant des directions intéressantes de recherche future dans le domaine de la modélisation de la demande de transport interurbain des voyageurs au Canada.

5.2 VALEUR DU TEMPS, ÉLASTICITÉS DE LA DEMANDE ET SUBSTITUTION MODALE

5.2.1 Valeur du Temps

Les valeurs du temps (VOT) estimées dans les systèmes de modélisation HORIZON/COMPASS (tableau 4.14) et celles estimées dans le modèle CRA (tableau 4.23) sont généralement comparables, malgré des différences dans les méthodologies utilisées. En particulier, notons que les VOT du déplacement par avion et par automobile, du modèle CRA ont toutes deux été dérivées à partir du modèle logit en prenant le train comme deuxième mode. C'est donc que la valeur du temps moyenne du mode train se situe probablement entre 20 et 35 $ pour les déplacements affaires et entre 9 et 28 $ pour les déplacements autre que affaires. Ces valeurs englobent bien les VOT du modèle HORIZONS/COMPASS pour le mode train, rapportées au tableau 4.14. De façon similaire, les VOT du temps de déplacement en automobile pour les déplacements affaires et autre que affaires et pour les déplacements autres que affaires par avion sont raisonnablement en accord avec les valeurs obtenues dans les modèles HORIZONS/COMPASS, surtout si l'on tient compte des distances de trajet relativement courtes à l'intérieur du corridor du Texas (c'est à dire, la VOT augmente généralement avec la distance). Cependant, la valeur du temps pour le mode avion et le motif de

déplacement affaires, dans le modèle CRA, est faible par rapport aux valeurs obtenues dans les modèles HORIZONS/COMPASS. Notons que ces comparaisons sont basées sur des VOT exprimées en dollars US de 1990.

Dans les tableaux 4.9(a) et 4.21, on retrouve une comparaison des valeurs du temps, calculées en utilisant le modèle logit multinomial de PM et le modèle HORIZONS, calibrés avec la même base de données de 1988 pour le corridor Windsor-Québec (la colonne «Ont./Qc» dans le tableau 4.21). Les VOT que nous retrouvons dans les deux tableaux sont exprimées en dollars canadiens de 1988. Des comparaisons entre ces deux tableaux sont difficiles à faire étant donné que le modèle PM désagrège la VOT selon le revenu (en plus de le faire selon le motif du déplacement), tandis que le modèle HORIZONS désagrège la VOT selon le mode et le motif du déplacement. Pourtant, il semblerait que le modèle PM génère des VOT du temps en véhicule, significativement inférieures à celles obtenues dans le modèle HORIZONS. Par exemple, la VOT du temps dans le véhicule, pour motif affaires, du modèle PM varie de 7 $ pour les voyageurs à faible revenu à 25 $ pour les voyageurs à revenu élevé, tandis que la valeur du temps selon le mode, dans le modèle HORIZONS, varie de 18,20 $ (pour l'autocar) à 65,70 $ (pour l'avion), la VOT du mode automobile et la VOT du mode train étant plus élevées que la limite supérieure (25 $) du modèle PM (c'est à dire, 28,00 $ et 27,80 $ respectivement). De même, les VOT pour le motif autre que affaires du modèle PM de 3 $ à 13 $, se situent complètement en dessous des valeurs correspondantes du modèle HORIZONS, valeurs qui varient de 13,30 $ à 35,20 $. Inversement, les VOT d'accès/sortie du modèle PM sont trois à sept fois plus élevées que les VOT du temps de déplacement dans le véhicule, comparativement au ratio de deux supposé dans le modèle HORIZONS.

Même sans ajuster les valeurs pour tenir compte de l'inflation, il est clair que les VOT (exprimées en dollars canadiens de 1984) de 11,02 $ (motif affaires) et 0,03 $ (motif autre que affaires), que nous retrouvons dans le modèle de Wilson et al, sont significativement faibles par rapport aux trois autres modèles que l'on vient de présenter. De même, les VOT pour motif autre que affaires du modèle Ridout et Miller sont significativement faibles relativement à ces modèles. Toutefois, les VOT pour motifs affaires du modèle Ridout et Miller ne sont pas incohérentes avec les résultats plus récents, présentés ci-dessus, particulièrement pour les revenus élevés qui caractérisent les voyageurs pour motif affaires (voir sous-section 4.4.2).

Donc, nous pouvons retrouver à travers les modèles étudiés un certain niveau d'uniformité des estimés de la VOT, spécialement si on procède à un ajustement pour les différences méthodologiques (et différences au niveau de leur forces et faiblesses) qui existent dans ces modèles. En particulier, les VOT du modèle HORIZONS, rapportés dans les tableaux 4.14 et 4.21[40], sont très crédibles du fait que non seulement elles se comparent bien aux valeurs estimées en utilisant le même type de modélisation dans d'autres corridors, mais elles se comparent généralement bien avec d'autres valeurs générées en utilisant d'autres méthodes pour modéliser le comportement de choix modal pour le corridor Windsor-Québec.

5.2.2 Élasticités de la demande

En général, nous n'avons pas pu évaluer les élasticités à partir de l'information fournie dans les articles et rapports étudiés. La seule exception notable à cette règle est le modèle PM, pour lequel on fournissait suffisamment d'informations pour pouvoir calculer les élasticités pour le parcours Toronto-Montréal en se basant sur les conditions d'exploitation de 1987. Autrement, cette étude repose sur les élasticités rapportées dans les articles et rapports étudiés. Malheureusement, on ne rapporte des élasticités que dans un des modèles (le modèle CRA) présentés dans la partie 4 (voir tableau 4.24). Toutes les autres élasticités correspondent aux modèles agrégés étudiés dans la partie 3. Le tableau 5.1 résume ces résultats agrégés, en plus des valeurs des élasticités du modèle PM. Les faits à noter aux tableaux 4.24 et 5.1 incluent les points suivants :

- Les modèles de Gaudry-Wills et Oum-Gillen indiquent que la valeur de l'élasticité-prix directe interurbaine est supérieure à 1,0 en valeur absolue (impliquant une demande élastique par rapport au prix). L'élasticité-prix associée aux modes autocar et train, déterminée dans les résultats de Gaudry-Wills est beaucoup plus élevée que celle obtenue par Oum-Gillen.
- Les résultats de Gaudry-Wills indiquent que les modes auto et avion sont inélastiques par rapport au temps, alors que les modes train et autocar ont des élasticités plus élevées, qui peuvent dépasser marginalement la valeur de 1,0 en valeur absolue, selon le modèle supposé.
- Les élasticités du modèle CTC sont plus ou moins en accord (bien que généralement supérieures) à celles des modèles de Gaudry et Wills, malgré la méthode de modélisation plus simple utilisée dans le premier modèle.

- Les élasticités-temps obtenues dans le modèle CRA ne sont pas incohérentes par rapport aux résultats obtenus par Gaudry et Wills, spécialement si on tient compte de la nature agrégée de ce dernier.
- Cependant, et contrairement aux résultats des modèles agrégés, le modèle CRA indique que les élasticités-prix du mode train ont tendance à être inélastiques pour les usagers usuels du mode avion. Cependant, ces élasticités prix augmentent en valeur absolue lorsque le tarif du mode train tend vers le niveau du tarif du mode avion (ces élasticités prix deviennent élastiques pour des tarifs du mode train quelque peu inférieurs au tarif du mode avion concurrent). Dans le modèle CRA, les usagers courants du mode automobile ont virtuellement des élasticités-temps unitaires pour un tarif du mode train égal à deux tiers du tarif du mode avion.
- Les élasticités-prix pour les modes de transport public du modèle PM sont raisonnablement cohérentes avec les résultats des modèles agrégés même si les variations des valeurs des modes avion et automobile semblent relativement élevés par rapport aux résultats des autres modèles (en particulier les résultats du modèle CRA).
- La variation des élasticités-temps pour les modes autres que l'avion, dans le modèle PM, semble être trop élevée par rapport aux résultats des autres modèles, bien que les élasticités les moins élevées du modèle PM soient généralement cohérentes avec les valeurs des autres modèles.

Vouloir tirer des conclusions générales d'un tel ensemble de résultats éparpillés, provenant de modèles si différents, est au mieux une tâche tout à fait hasardeuse et fort probablement insensée. Néanmoins, nous pouvons avancer les hypothèses suivantes, hypothèses qui semblent correspondre aux résultats que l'on retrouve dans cette étude.

- La demande de transport interurbain tend à être inélastique par rapport au temps. L'élasticité-temps varie approximativement de –0,40 à –0,85 selon le modèle utilisé et le mode envisagée. Les valeurs les moins élevées semblent correspondre aux déplacements avec le mode auto, tandis que les plus élevées semblent être caractéristiques du mode avion.
- La demande de transport interurbain associée au mode automobile tend à être faiblement élastique par rapport au coût, particulièrement dans l'intervalle des tarifs du mode train associés à l'utilisation d'un train à grande vitesse.

Tableau 5.1
ÉLASTICITÉS DES PARTS MODALES INTERURBAINES, MODÈLES CHOISIS

(a) Élasticités-prix directes[a]				
Mode	**Gaudry-Wills[b]**	**Oum-Gillen[c]**	**CCT[d]**	**PM[e]**
Avion	1,87-1,53	1,16	2,71-2,97	1,57-4,50
Train	2,84-2,45	1,25	1,66-2,64	1,49-2,06
Autocar	2,91-2,50	1,44	2,1-3,87	1,04-1,31
Automobile	1,25-1,08	—[d]	—[d]	0,15-2,60
(b) Élasticités-temps directes[a]				
Mode	**Gaudry-Wills[b]**	**Oum-Gillen[f]**	**CCT[d]**	**PM[e]**
Avion	0,86-0,83	—	0,46-0,62	0,14-0,58
Train	0,77-1,06	—	0,35-1,52	0,57-3,82
Autocar	0,77-1,08	—	1,44-2,15	0,67-4,94
Automobile	0,38-0,53	—	—[d]	0,11-3,63

a. **Pour des raisions de présentation, on a effacé les signes négatifs de ces élasticités.**
b. **Obtenu à partir du tableau 3.4. Le premier nombre correspond à l'élasticité du modèle CLCS-1, le deuxième correspond à la valeur du modèle TLCS-1. Les élasticités se basent sur les données de 1972 et sont évaluées à la moyenne de l'échantillon.**
c. **Obtenu à partir du tableau 3.5 en faisant la moyenne des quatre trimestres des élasticités de 1972. À noter que ce sont des élasticités des parts de dépense au lieu des vraies valeurs des parts de marché des modes.**
d. **Obtenu à partir du tableau 3.1. Rang indique les élasticités les plus élevés et les plus basses rapportées dans ce tableau.**
e. **Obtenu à partir du tableau 4.9. Rang indique les élasticités les plus élevées et les plus basses obtenues à travers les combinaisons considérées, motif du déplacement — revenu, dans le tableau 4.9.**
f. **Elasticité pas estimable dans ce modèle.**

- La demande de transport interurbain aérien tend à être faiblement inélastique par rapport au coût, à moins que les tarifs du chemin de fer se rapprochent de ceux de l'avion, auquel cas la demande pourrait devenir élastique unitaire ou même légèrement élastique.

De façon évidente, ces hypothèses s'appuient fortement sur les résultats du modèle CRA (en particulier pour ce qui en est des élasticités-prix du mode avion), et, ont tendance à être exprimées dans les paramètres du modèle CRA. Cette approche est adoptée sur la base des considérations suivantes :

- En se basant sur les comparaisons des valeurs du temps étudiées dans la sous-section 5.2.1, le modèle CRA semble produire des résultats similaires à ceux obtenus dans des modèles opérationnels actuels canadiens, de conception quelque peu similaire (par exemple, le modèle HORIZONS).

Ainsi, en l'absence d'informations plus complètes, nous considérerons les élasticités rapportées dans le modèle CRA comme étant représentatives de cette génération de modèles.

- Comme il a déjà été noté, à l'exception des élasticités-prix du mode avion, les résultats du modèle CRA sont raisonnablement compatibles avec les résultats du modèle de Gaudry et Wills.

- L'approche de modélisation désagrégée est considérée comme étant théoriquement plus solide pour la modélisation du transport interurbain que l'approche statistique/empirique agrégée du modèle de Gaudry et Wills. Ainsi, dans le doute, nous aurons tendance à favoriser les résultats du modèle désagrégé.

5.3 FORME FONCTIONNELLE ET APPROCHE DE MODÉLISATION

Comme il est clairement établi dans la sous-section précédente, les jugements que l'on porte sur une approche de modélisation dépendent de manière inhérente de l'évaluation des résultats obtenus. C'est pourquoi, une grande partie de cette étude se concentre sur les aspects méthodologiques : la validité des résultats empiriques ne peut être évaluée indépendamment des moyens grâce auxquels ces résultats ont été obtenus. Cette étude a fait ressortir quelques orientations claires en ce qui concerne l'évolution des méthodes de modélisation de la demande de transport interurbain des voyageurs. Ces orientations peuvent être résumées par les observations suivantes :

- Un niveau minimum d'agrégation est nécessaire pour obtenir des modèles qui représentent bien le comportement des voyageurs et qui soient sensibles aux politiques de transport. Cette désagrégation doit inclure le développement séparé de modèles pour motif affaires et pour motif autre que affaires (avec une désagrégation supplémentaire, le cas échéant, de la catégorie autre que affaires). Le modèle doit aussi être suffisamment désagrégé au niveau spatial afin de permettre des calculs raisonnables des temps et coûts d'accès/sortie par mode[41].

- On a constaté que peu de variables socio-économiques, exception faite du revenu, affectent significativement et uniformément le choix modal interurbain. Bien que cela puisse partiellement être dû au manque et/ou à l'insuffisance de méthodes appropriées pour tester les modèles, la constance de ce résultat dans tous les modèles désagrégés étudiés semble indiquer une certaine robustesse de ce résultat[42]. Il s'agit d'une bonne

nouvelle pour les chercheurs puisque cela réduit le montant de désagrégation requis pour la spécification des modèles et simplifie également le problème agrégation/prévision du modèle.

- Les résultats des modèles agrégés et désagrégés montrent que le modèle logit multinomial simple n'est pas approprié pour l'élaboration de modèles interurbains de choix modal. L'hypothèse d'élasticités croisées constantes du modèle logit est insoutenable, tant du point de vue théorique que du point de vue des observations empiriques. Diverses formes du modèle logit sont typiquement utilisées afin de contourner les problèmes inhérents dans le modèle logit multinomial[43]. Elles incluent :

  - le modèle logit emboîté (représenté par le modèle de Koppelman, sous-section 4.4.6);
  - l'application séquentielle de modèles logit binaires hiérarchiques (représentés par la famille de modèles HORIZONS/COMPASS, sous-section 4.5.1)[44]; et
  - l'utilisation par paires, (train par rapport à un mode concurrent) des modèles logit binaires de choix modal appliqués à des modes de transport concurrents (le modèle CRA, sous-section 4.5.2).

  Les trois approches possèdent des forces et des faiblesses, tandis que les deux dernières au moins sont représentatives de l'état de la question au niveau de la pratique opérationnelle actuelle.

- Compte tenu du contrôle plus rigoureux que les méthodes d'enquête basées sur le choix permettent au niveau de l'élaboration de l'enquête et de la plus grande efficacité sur le plan de l'acquisition des données, ces méthodes sont généralement privilégiées pour la modélisation du choix modal.

- Pour prévoir la réaction des voyageurs à l'introduction de services essentiellement nouveaux, tels que le train à grande vitesse, l'utilisation de techniques de préférences déclarées est en train de devenir un moyen courant de déterminer les valeurs plausibles du temps, etc.

5.4 AVENUES DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT DE MODÈLES

En dépit des améliorations considérables, au cours des 20 dernières années, de la modélisation de la demande interurbaine, il reste encore un certain nombre de questions qui requièrent des recherches additionnelles pour que ce domaine continue de se développer et pour maximiser la contribution de ces modèles à l'élaboration et à l'application de politiques de transport interurbain des voyageurs. Plus généralement, ces questions ont trait à la nécessité d'entreprendre des recherches plus générales et systématiques sur de nouvelles spécifications de modèles et sur les performances pratiques et statistiques de ces modèles. Il s'agit plus précisément des points suivants :

- Il faut étudier la segmentation du marché du transport des voyageurs interurbains plus en détail, et de manière plus systématique que cela n'a été généralement fait. Ridout et Miller (1989) et Abdelwahab et al (1991) représentent des exemples d'essais très partiels d'études de cette question, mais nous avons besoin de recherches plus complètes qui impliquent des bases de données plus détaillées. Le rôle de la distance et du revenu en tant que variables de catégorisation au lieu de variables explicatives, la possession d'une automobile (une variable presque totalement inexplorée dans le contexte interurbain) et les variations saisonnières dans le choix de transport (encore une autre variable presque totalement négligée mais d'un intérêt significatif dans le contexte canadien), requièrent toutes des recherches additionnelles considérables.

- Il faudrait explorer de manière cohérente (c'est à dire, en utilisant la même base de données, etc.) les diverses options de structuration du processus de choix modal interurbain étudié dans la sous-section précédente. Il existe également d'autres options, notamment le classement des choix à l'intérieur de la hiérarchie des choix binaires.

- Il faut utiliser une forme fonctionnelle généralisée (représenté par le travail de Gaudry) dans le contexte des modèles structurés et (partiellement) désagrégés, caractéristiques des méthodes opérationnelles actuelles. Cette approche comporte sans aucun doute des complexités au niveau de l'estimation[45]. Néanmoins, l'utilisation de ces formes fonctionnelles généralisées élargit l'éventail des hypothèses de modèles pouvant être testés, en plus de permettre de savoir jusqu'à quel point les modèles plus restreints (et, de là, la théorie sous-jacente qui génère ces formes fonctionnelles restreintes), saisissent de façon adéquate le comportement observé.

Ces besoins identifiés pointent en général vers la nécessité plus fondamentale de traiter la modélisation de la demande de transport interurbain des voyageurs comme un travail de recherche; c'est à dire, comme un processus (typiquement interactif) de formulation et de vérification d'hypothèses, conçu pour améliorer notre compréhension du comportement du voyageur interurbain en général et nos capacités pratiques de prévision du comportement du voyageur en particulier. Cette approche est à contraster avec les approches habituelles adoptées dans ce domaine dans lesquelles les modèles sont traités comme des outils spécialisés, conçus pour promouvoir un point de vue particulier et, qui ne sont pas ouverts à un examen minutieux ni à un débat professionnel informé. Mais, sans cet examen minutieux et sans ce débat, la modélisation ne réalisera inévitablement pas tout son potentiel, souffrira d'un manque général de crédibilité et ne pourra donc pas être utilisée pour élaborer les politiques de transport.

NOTES

1. Cette étude n'inclut pas les modèles de demande pour un seul mode (tels que les modèles de prévision du transport aérien), puisque ces modèles fournissent peu ou pas d'information en ce qui concerne la substitution intermodale. Pour une étude récente des modèles de prévision de la demande aérienne, voir Hutchinson (1991).

2. Pour des critiques plus détaillées concernant les modèles agrégés voir Rice et al et Koppelman et al.

3. Techniquement, nous observons rarement la probabilité de choix modal (fréquence) d'un individu mais nous observons plutôt le choix d'un seul mode dans une situation de choix unique. Ceci complique quelque peu l'estimation du modèle mais ne change pas les arguments dont on fait mention ici.

4. Comme il est amplement expliqué dans la sous-section 4.4.6, la grande majorité des modèles dits désagrégés gardent en vérité un certain niveau d'agrégation spatiale, dû principalement à des limitations de données. Cependant, l'ensemble de l'approche méthodologique est, quant à elle, essentiellement désagrégée.

5. Il existe des exceptions à cette généralisation. Voir, par exemple, la sous-section 4.4.6, ou est étudié le modèle de Koppelman. Ce modèle implique l'extension de la théorie du choix désagrégé à l'ensemble du processus de modélisation de la demande de transport interurbain.

6. Voir Hartgen et Cohen (1976), Rice et al (1981), et Koppelman et al (1984).

7. VIA Rail (1984a, 1984b).

8. TC/MTC (1979), DERA (1979).

9. Cette partie se base sur l'étude de CCT (1970).

10. Pour une description plus complète du modèle dogit, voir Gaudry et Dagenais (1979).

11. Gaudry et Wills (1979), p. 165.

12. Oum et Gillen (1983), pp. 184-185.

13. Pour une discussion plus détaillée de la théorie de la modélisation des choix désagrégés, de la méthodologie et des applications, voir, par exemple, Domencich et McFadden (1975), Hensher et Johnson (1981), Kanafani (1983), Manski et McFadden (1984) et Ben-Akiva et Lerman (1985).

14. Pour une étude plus détaillée, concernant ces modèles, voir Hartgen et Cohen (1976), Rice et al (1981) et Koppelman et al (1984).

15. Le modèle TDA, développé pour le couloir Ottawa-Montréal, en utilisant les données d'enquête de 1972 recueillies spécialement pour ce projet.

16. Cette discussion se base sur les textes de Ridout (1982) et Ridout et Miller (1989).

17. «Meilleure» est défini en termes de la signification statistique des paramètres estimés, des attentes *a priori* concernant le signe de ces coefficients, de la qualité d'ajustement d'ensemble du modèle et des tests statistiques explicites qui comparent la qualité d'ajustement des spécifications concurrentes des modèles.

18. Voir par exemple, Miller et Cheah (1991).

19. Cette discussion est basée sur le texte de Wilson et al (1990).

20. Une des différences importantes est le manque de termes caractérisant l'accès/sortie dans les modèles de Wilson et al, dû à un manque d'information dans la base de données EVC, pour pouvoir estimer ces termes. Il s'agit de la seule grande faiblesse de la base de données EVC et la raison pour laquelle Ridout et Miller ne l'ont pas utilisée dans leur travail de modélisation.

21. Cette discussion se base sur les textes Abdelwahab et al (1991) et Abdelwahab (1990).

22. La mise à jour implique l'ajustement des paramètres estimés pour une région donnée en utilisant des informations (typiquement limitées) concernant la nouvelle région ou le modèle doit être transféré. Pour des discussions supplémentaires sur ces méthodes voir, par exemple, Atherton et Ben-Akiva (1976) et Koppelman et Wilmot (1982, 1986).

23. Voir Abdelwahab (1990) pour plus de détails sur les tests de transférabilité.

24. En particulier, voir McCoomb (1983) pour un examen détaillé sur le transfert de modèles de choix modal urbains au Canada.

25. Cette discussion se base sur Peat Marwick (1990), Groupe de travail train rapide Québec/Ontario (1990) et Ellis (1990).

26. Par définition, ces termes sont aussi absents du modèle de Ridout-Miller, puisque le mode automobile est exclu du modèle.

27. Ces termes de biais sont les équivalents des constantes ou le terme «d'interception de l'axe des *y*» dans la régression d'une équation linéaire. Dans la régression linéaire, la droite de régression passe toujours par le point défini par les valeurs moyennes des variables dépendantes et indépendantes. Si l'on force l'interception de y au point 0, alors les autres coefficients du modèle (qui représentent la pente de la ligne par rapport à la variable indépendante) seront biaisées en conséquence. Lors de l'estimation par la méthode du Maximum de vraisemblance (MV) des modèles logits, le modèle reproduit toujours les parts modales agrégées observées dans l'échantillon d'estimation. Si l'on omet les termes de biais, les autres paramètres du modèle seront biaisés de façon analogue à l'exemple de régression.

28. Un argument similaire, mais beaucoup moins persuasif, peut être avancé pour d'autres paramètres du modèle. En particulier, les temps et les coûts de déplacement du nouveau modèle seront probablement similaires à ceux déjà éprouvés par les voyageurs dans le système. Donc, si le modèle est «adéquatement» construit, il devrait saisir ces arbitrages de services modaux de manière adéquate. Cependant, les constantes cachent l'ensemble particulier des caractéristiques non observées qui existent dans les modes courants. Un mode très amélioré ou un nouveau mode auront vraisemblablement un ensemble différent de ces caractéristiques non observées et nous obtiendrons par conséquent des constantes modales bien différentes.

29. Cela peut être mis en contraste avec le cas urbain où l'introduction d'un nouveau mode est rarement la question. Les modèles urbains sont au contraire utilisés pour examiner les autres solutions d'expansion des réseaux modaux existants, une situation où la possibilité de transférer les paramètres de modèles — incluant les constantes modales — dans des contextes futurs, est une hypothèse plus facilement acceptable.

30. Cette discussion se base sur le texte de Koppelman (1989).

31. Pour une discussion plus détaillée sur le modèle logit emboîté et sa dérivation à partir de la théorie de l'utilité, voir, entre autres, Ben-Akiva et Lerman (1985). En général, le logit emboîté peut être considéré comme une généralisation du logit ordinaire qui permet de modéliser de façon pratique et théoriquement cohérente des structures de décision complexes.

32. Kopperman et Hirsh (1986). Pour une discussion similaire sur ces sujets, voir Rice et al (1981).

33. Comme l'indiquent les difficultés rencontrées par Ridout et Miller, et Wilson et al, dans leurs travaux de modélisation, des problèmes similaires existent avec les bases de données canadiennes publiques. Voir Miller (1985) pour une discussion détaillée des sujets reliés aux bases de données dans la modélisation de la demande interurbaine de transport des voyageurs au Canada.

34. Cette question subsiste malgré l'expérience considérable acquise dans le domaine de la recherche sur les méthodes de préférences déclarées (voir, par exemple, Green et Srinivasan (1978) et Cattin et Wittink (1982). Pour une discussion détaillée des forces et faiblesses des préféences révélées et déclarées dans les modèles de demande de transport des voyageurs, voir Ben-Akiva et al (1990).

35. Voir VIA Rail (1984a, 1984b).

36. Cette discussion se base sur les textes Transportation and Economic Management Systems, Inc. (non daté) et Transportation and Economic Management Systems, Inc./Benesh (1991).

37. Voir n'importe quel texte traitant des modèles logit désagrégés; par exemple, Ben-Akiva et Lerman (1985).

38. Cette discussion se base sur VIA Rail (1989a, 1989b, 1989c, 1989d).

39. Cette partie se base sur le texte de Brand et al (1991).

40. Celles-ci sont les mêmes VOT. Dans le tableau 4.14 elles sont exprimées en dollars américains de 1990, tandis que dans le tableau 4.21 elles sont exprimées dans leur unité originale, soit en dollars canadiens de 1988.

41. Bien que nous n'ayons pas discuté du sujet dans la partie concernant l'examen des modèles, les modèles actuels impliquent l'utilisation d'un système de zones pour chaque aire urbaine suffisamment détaillé pour permettre le calcul raisonnablement précis des temps et coûts d'accès/sortie pour chaque mode de transport interurbain. Voir, par exemple, VIA Rail (1989a) et Transportation Economic Management System, Inc (non daté). Cela est à contraster avec les modèles agrégés antérieurs, dans lesquels on n'utilisait qu'un seul ensemble de temps et de coûts d'accès/sortie moyens pour chaque paire de villes.

42. Dans une étude ouest-allemande qui n'a pas été citée dans ce texte, Brog (1982) rapporte le «surprenant faible impact» qu'ont les variables socio-démographiques sur le comportement personnel du choix modal interurbain. Ce résultat a été obtenu à la suite d'une étude attitudinale détaillée, au lieu d'utiliser des modèles économétriques comme ceux qui ont été étudiés dans ce texte. Ainsi, ce résultat semble être relativement fiable dans les différentes méthodologies d'analyse.

43. La seule exception significative à cet énoncé implique le travail toujours en cours de Gaudry sur l'utilisation de formes fonctionnelles agrégées très générales (Gaudry 1989, 1990). Cette approche ne semble pas très populaire auprès des concepteurs de modèles interurbains opérationnels, en raison probablement des complexités économétriques et d'estimation qu'elle implique. Cependant, comme il est expliqué dans la sous-section suivante, une grande partie de ce travail est potentiellement transférable à un environnement opérationnel plus désagrégé à l'intérieur de l'approche de modélisation structurée expliquée ici.

44. Comme il est dit dans la sous-section 4.5.1, selon l'application du modèle, le système peut être cohérent ou pas, avec la formulation du modèle logit emboîté.

45. Des problèmes théoriques peuvent aussi exister. L'utilisation de ces formes fonctionnelles généralisées, en particulier, implique parfois le relâchement des liens entre le modèle et la théorie micro-économique de l'utilité, théorie qui à souvent servi de base aux modèles empiriques, et qui lui vaut une grande partie de sa plausibilité *a priori*.

RÉFÉRENCES

Abdelwahab, W. M., «Transferability of Intercity Disaggregate Mode Choice Models in Canada», *Canadian Journal of Civil Engineering*, 18, 1990, pp. 20-26.

Abdelwahab, W. M., J. D. Innes et A. M. Stevens, «Development of Disaggregate Mode Choice Models of Intercity Travel in Canada», non publié, Frédéricton, Department of Civil Engineering, University of New Brunswick, 1991.

Atherton, J. et M. E. Ben-Akiva, «Transferability and Updating of Disaggregate Travel Demand Models», *Transportation Research Record* 610, 1976, pp. 12-18.

Ben-Akiva, M. E. et S. R. Lerman, Discrete Choice Analysis, Cambridge, Mass., The MIT Press, 1985.

Ben-Akiva, M. E., T. Morikawa et F. Shiroishi, «Analysis of the Reliability of Stated Preference Data in Estimating Mode Choice Models», *Proceedings of the Fifth World Conference on Transport Research*, Evanston, Ill., World Conference on Transport Research Society, 1990.

Brand, D., T. E. Parody, P. S. Hsu et K. Tierney, «Forecasting High Speed Rail Ridership», 1991. National Research Council, présenté à la 71e réunion annuelle du Transportation Research Board, janvier 1992. (NCHRD Report 1341)

Brog, W., «The Application of the Situational Approach to Depict a Model of Personal Long-Distance Travel», 1982. Présenté à la 61e réunion annuelle du Transportation Research Board, Washington, D.C., janvier 1982.

Cattin, P. et D. R. Wittink, «Commercial Use of Conjoint Analysis: A Survey» *Journal of Marketing*, 46, 1982, pp. 44-53.

Cohen, G. S., N. S. Erlbaum and D. T. Hartgen, «Intercity Rail Travel Models», *Transportation Research Record*, no. 673, 1978, pp. 21-25.

Commission canadienne des transports, *Intercity Passenger Transport Study*, Ottawa, Commission canadienne des transports, Direction de la recherche, september 1970.

Domencich, T. et D. McFadden, *Urban Travel Demand: A Behavioral Analysis*, Amsterdam, North-Holland, 1975.

Ellis, R., «Intermodal Substitution and High-Speed Rail: Evidence from the United States and Lessons for Canada», dans *Canadian Transportation Policy*, D. W. Gillen (Édit.), Policy Forum — Series — 18, Kingston, Queen's University, John Deutsch Institute for the Study of Economic Policy, 1990, pp. 51-60.

Ellis, R. H., P. R. Rassam et J. C. Bennett, «Consideration of Intermodal Competition in the Forecasting of National Intercity Travel», *Research Record*, no. 369, 1971, pp. 253-261.

Gaudry, M. J. I., «Asymmetric Shape and Variable Tail Thickness in Multinomial Probabilistic Response: Three Model Type Families in a Quasi-Direct Format Application to Intercity Travel Demand with Aggregate Canadian Data», Montréal, Université de Montréal, Centre for Transportation Research, juin 1989.

Ibid.,«Three Families of Mode Choice Models Applicable to Intercity Travel Demand with Aggregate Data», dans *Canadian Transportation Policy*, D. W. Gillen (Édit.), Policy Forum Series — 18, Kingston, Queen's University, John Deutsch Institute for the Study of Economic Policy, 1990, pp. 43-50.

Gaudry, M. J. I. et M. G. Dagenais, «The Dogit Model», *Transportation Research*, 13B, 1979, pp. 105-111.

Gaudry, M. J. I. and M. J. Wills, «Estimating the Functional Form of Travel Demand Models», *Transportation Research*, 12, 1978, pp. 257-289. (Figure 3.1 et tableaux 3.2, 3.3, 3.4 reproduits avec l'autorisation de Pergamon Press Ltd.)

Ibid., «Testing the Dogit Model with Aggregate Time-Series and Cross-Partieal Travel Data», *Transportation Research*, 13B, 1979, pp. 155-166. (Tableau 3-5 reproduit avec l'autorisation de Pergamon Press Ltd.)

Grayson, A., «Disaggregate Model of Mode Choice in Intercity Travel», *Transportation Research Record*, no. 835, 1981, pp. 36-42.

Green, P. E. et V. Srinivasan, «Conjoint Analysis in Consumer Research: Issues and Outlook», *Journal of Consumer Research*, 5, 1978, pp. 103-123.

Groupe de Travail Train Rapide Québec/Ontario, *rapport final du Groupe de Travail Train Rapide Québec/Ontario*, mai 1991.

Hartgen, D. T. et G. S. Cohen, *Intercity Passenger Demand Models: State of the Art*, Preliminary Research Report 112, Albany, N.Y., New York State Department of Transportation, Planning Research Unit, décembre 1976.

Hensher, D. A. et L. W. Johnson, *Applied Discrete-Choice Modelling*, Londres, Croom Helm, 1981.

Hensher, D. A., P. O. Barnard et T. P. Thruong, «The Role of Stated Preference Methods in Studies of Travel Choice», *Journal of Transport Economics and Policy*, 12, 1988, pp. 45-58.

Hutchinson, B. G., *Analyses of Canadian Air Travel Demands*, manuscrit non publié, Waterloo, University of Waterloo, Department of Civil Engineering, 1991.

Kanafani, A., *Transportation Demand Analysis*, New York, McGraw-Hill, 1983.

Koppelman, F. S., «Models of Intercity Travel Choice Behavior». Document présenté à la 68e réunion annuelle du Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., janvier 1989. (NCHRD Report 1241.)

Koppelman, F. S. et M. Hirsh, «Intercity Passenger Decision Making: Conceptual Structure and Data Implications», *Transportation Research Record* no. 1085, 1986, pp. 70-74.

Koppelman, F. S., G. K. Kuah and M. Hirsh, *Review of Intercity Passenger Travel Demand Modelling: Mid-60's to the Mid-80's*, Evanston, Ill., Northwestern University, The Transportation Center, 1984.

Leake, G. R. and J. R. Underwood, «Comparison of Intercity Bi-Modal Split Models», *Transportation Planning and Technology*, 5, 1978, pp. 55-69.

Louviere, J. J. and D. A. Hensher, «On the Design and Analysis of Simulated Choice or Allocation Experiments in Travel Choice Modelling», document de travail 50, Iowa City, University of Iowa, The Institute of Urban and Regional Research, juin 1982.

Louviere, J. J., D. H. Henly, G. Woodworth, R. J. Meyer, I. P. Levin. J. W. Stones, D. Curry et D. A. Anderson, «Laboratory-Simulation Versus Revealed-Preference Methods for Estimating Travel Demand Models», *Transportation Research Record*, nº 794, 1981, pp. 42-51.

Manski, C. et S. R. Lerman, «Estimation of Choice Probabilities from Choice-Based Samples», *Econometrica*, 45, 1977, pp. 1977-1988.

Manski, C. et D. McFadden (Édit.), *Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications*, Cambridge, Mass., MIT Press, 1984.

McCoomb, L. A., «Analysis of the Transferability of Disaggregate Demand Models Among Ten Canadian Cities», *Transportation Forum*, 3, 1, 1983, pp. 19-32.

Miller, E. J., «The Data Base for Intercity Passenger Travel Analysis: Current State and Future Prospects», 1985. Document présenté à la 20e Conférence annuelle du Groupe de recherches sur les transports au Canada, Toronto, mai 1985.

Miller, E. J. et L. S. Cheah, «An Operational, Integrated, Mode Choice and Route Assignment Model», 1991. Document présenté à la 71e réunion annuelle du Transportation Research Board, Washington, D.C., janvier 1992.

Morikawa, T., M. E. Ben-Akiva et K. Yamada, «Forecasting Intercity Rail Ridership Using Revealed Preference and Stated Preference Data», 1990. Document présenté à la 70e réunion annuelle du Transportation Research Board, Washington, D.C., janvier 1990.

Morrison, S.A. et C. Winston, «An Econometric Analysis of the Demand for Intercity Passenger Transportation,» ébauche.

Oum, T. H. et D. W. Gillen, «The Structure of Intercity Travel Demands in Canada: Theory, Tests and Empirical Results», *Transportation Research*, 17B, 3, 1983, pp. 175-191. (Tableau 3-5 reproduit avec l'autorisation de Permagon Press Ltd.)

Peat Marwick, *Évaluation du marché pour un train à grande vitesse dans le corridor Québec/Ontario.* Rapport Final présenté au Groupe de Travail Train Rapide Québec/Ontario, Vienna, Virginie, KPMG Peat Marwick, juin 1990.

Rice, R. G., E. J. Miller, G. N. Steuart, R. Ridout et M. Brown, *Review and Development of Intercity Passenger Travel Demand Models*, rapport de recherche nº 77, Toronto, University of Toronto/York University Joint Program in Transportation, juin 1981.

Ridout, R., *Development of Disaggregate Intercity Passenger Mode Split Models*, M.Eng. project report, Toronto, University of Toronto, Department of Civil Engineering, 1982.

Ridout, R. et E. J. Miller, «A Disaggregate Logit Model of Intercity Common Carrier Passenger Modal Choice», *Canadian Journal of Civil Engineering*, 16, 1989, pp. 568-575.

Stephanedes, Y. S., V. Kummer et B. Padmanabhan, «A Fully Disaggregate Mode-Choice Model for Business Intercity Travel», *Transportation Planning and Technology*, 9, 1, 1984.

Stopher, P.R. et J.N. Prashkter, «Intercity Passenger Forecasting: The Use of Current Travel Forecasting Procedures», *Transportation Research Forum Proceedings 17th Annual Meeting*, vol. XVII, n° 1, pp. 67-75.

Transports Canada. SOMPS: *An Outline of PERAM Forecasts for Domestic Travel by Mode*, document de travail préliminaire, Ottawa, Transports Canada, Groupe de la planification stratégique, 1979.

Transports Canada/ministère des Transports et des Communications. *Étude sur le transport voyageurs multimodal dans le sud de l'Ontario*, Ottawa, Transports Canada et ministère des Transports et des Communications de l'Ontario, septembre 1979.

Transportation Development Agency, *Mode Choice for Intercity Passenger Travel Montreal-Ottawa*, document de travail TP 234, TDA 75, Montréal, Transportation Development Agency, août 1976.

Transportation and Economic Management Systems, *The COMPASS System, Demand Forecasting and Strategic Economic Analysis System*, Hamilton, Transportation & Economic Management Systems Inc., non daté.

Transportation Management Systems Inc./Benesch, *Tri-State High Speed Rail Study Chicago-Milwaukee-Twin Cities Corridor*. Rapport final pour les départements des transports de l'Illinois, du Minnesota et du Wisconsin, Great Falls, Va., Transportation Management Systems, Inc., non daté.

VIA Rail, *Le transport ferroviaire voyageurs à grande vitesse au Canada*, rapport sommaire, Montréal, VIA Rail Canada, février 1984, 1984a.

Ibid., *Le transport ferroviaire voyageurs à grande vitesse au Canada*, vol. II, *Annexes*, Montréal, VIA Rail Canada, avril 1984, 1984b.

Ibid., *Passenger Rail Demand Forecasting Study*, rapport final, 1989 Rail Passenger Review Working Paper T015-6-32, Toronto, Cole, Sherman and Associates Ltd, juillet 1989, 1989a.

Ibid., *Étude du transport ferroviaire voyageurs au Canada*, Montréal, VIA Rail Canada, juillet 1989, 1989b.

Ibid., *Étude du transport ferroviaire voyageurs au Canada*, rapport complémentaire, vol. I, *Conception de l'étude*, Montréal, VIA Rail Canada, septembre 1989, 1989c.

Ibid., *Étude du transport ferroviaire voyageurs au Canada*, rapport complémentaire vol. III, *Services du corridor*, Montréal, VIA Rail Canada, septembre 1989, 1989d.

Watson, P. L., «The Value of Time and Behavioural Models of Mode Choice», mémoire de thèse, Édimbourg, University of Edinburgh, 1972.

Watson, P. L., «Comparison of the Model Structure and Predictive Power of Aggregate and Disaggregate Models of Intercity Mode Choice», *Transportation Research Record*, no. 524, 1974.

Wills, M. J., «On the Equivalence of Common Rearrangements for Sum Constrained Travel Estimation Problems», Ottawa, Transports Canada, Groupe de la planification stratégique, mars 1981.

Wilson, F. R., S. Damodaran et J. D. Innes, «Disaggregate Mode Choice Models for Intercity Passenger Travel in Canada», *Canadian Journal of Civil Engineering*, 17, 1990, pp. 184-191.