20

LES ÉLASTICITÉS-PRIX DE LA DEMANDE DE TRANSPORT INTERURBAIN DES PERSONNES

Richard Laferrière*
mars 1992

1. INTRODUCTION[1]

On conçoit facilement que la demande de transport aérien entre Montréal et Toronto dépende du prix d'un tel voyage en avion, et du prix des autres modes de transport, mais aussi du niveau de revenu des personnes, du nombre de personnes qui habitent Montréal et Toronto et de bien d'autres facteurs encore. Pris séparément, il est relativement facile de montrer que chacun de ces facteurs affecte le nombre de voyageurs en avion. Des schémas ou des corrélations simples pourraient montrer que les variations du nombre de voyageurs et des revenus vont de pair, ou encore que l'achalandage et le prix du transport par avion sont inversement proportionnels.

Cependant, si la présente analyse vise à isoler l'influence du prix sur le nombre de voyages, il est alors nécessaire d'utiliser un outil d'analyse qui tienne compte de tous les autres facteurs qui affectent aussi la demande de transport aérien. Pour cette raison, des diverses façons d'étudier le rapport entre la demande de transport et les prix, seuls les modèles économétriques qui mesurent l'incidence de différents facteurs explicatifs sur l'utilisation des modes de transport retiendront notre attention.

* Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal.

Cette approche multidimensionnelle permet de poser la question suivante : *ceteris paribus*, quel serait l'effet d'une hausse du prix sur la demande de transport? L'analyse mathématique multivariée permet de répondre à cette question, car elle isole l'incidence de chaque facteur explicatif.

L'examen des différents modèles économétriques de la demande de transport interurbain portera surtout sur la sensibilité des demandes modales de transport des voyageurs par rapport aux prix. Cependant, il faut garder à l'esprit que ces modèles, tel qu'indiqué à la partie 2 tiennent compte de considérations autres que les prix.

Une mesure utile de la sensibilité de la demande par rapport au prix est l'élasticité-prix qui peut être définie comme un changement de pourcentage de la demande résultant d'une variation de 1 pour cent du prix. Habituellement, l'élasticité-prix de la demande de transport est négative : une hausse de prix de 1 pour cent diminue la demande de x pour cent. Dans la présente étude toutefois, nous ferons abstraction du signe et utiliserons la valeur absolue de l'élasticité : ainsi dirons-nous qu'une élasticité-prix de –3 est plus élevée qu'une élasticité-prix de –1.

L'étude compare, pour la première fois, différentes estimations de l'effet des prix sur les voyages interurbains. Plus précisément, la sensibilité de la demande de chacun de modes de transport (automobile, avion, train, autocar) sera évaluée par rapport au prix de chacun des modes. Par le passé, plusieurs modèles de la demande de transport interurbain des voyageurs ont été calibrés, ayant pour résultat une évaluation des élasticités-prix propres à chacun de ces modèles. Ces estimations des élasticités-prix demeurent difficilement comparables car elles sont basées sur des prix et des demandes différentes.

Le présent examen des élasticités-prix de la demande de transport des personnes permettra de répondre à différentes questions : Est-ce que les modèles calibrés il y a plus de 10 ans permettent toujours de mesurer la sensibilité de la demande de transport d'aujourd'hui? Quels sont les modèles qui peuvent ou non s'appliquer selon le type de marché analysé? Est-ce que les élasticités-prix provenant de différents modèles sont suffisamment homogènes pour faire ressortir un «consensus»? Quels sont les modes de transport dont la demande est élastique? Pour quels modes de transport est-ce que la demande est sensible aux prix des autres modes?

Les réponses à ces questions sont données dans la partie 3 qui contient une analyse des élasticités-prix pour quatre marchés canadiens. Ces élasticités sont calculées à partir de neuf modèles économétriques de la demande de transport interurbain des personnes. La méthode suivie pour la comparaison de ces modèles de demande est exposée à la partie 2. Cette méthode repose sur certaines hypothèses dont la validité est vérifiée à la partie 4. On retrouve la formulation détaillée des neuf modèles de demande à la partie 5.

2. MÉTHODE DE COMPARAISON DES MODÈLES ET DESCRIPTION DES MARCHÉS

Comme nous venons d'y faire allusion, l'élasticité-prix de la demande de transport varie généralement d'un marché à un autre : on s'attend que les élasticités-prix pour le marché Montréal-Toronto soient différentes de celles du marché Toronto-Vancouver, car les prix des modes diffèrent, le niveau des déplacements est inégal, etc.

Dans la documentation empirique de la demande de transport, il est pratique courante de présenter des élasticités-prix calculées avec l'échantillon qui a servi à la calibration du modèle économétrique; les élasticités-prix ainsi calculées ne peuvent être comparées à celles d'autres études si elles sont basées sur des prix différents.

2.1 QUATRE MARCHÉS REPRÉSENTATIFS

En vue de pallier ces difficultés, l'étude présente d'une façon homogène les élasticités-prix provenant de différents modèles mathématiques. En effet, l'analyse comparative des élasticités-prix s'effectue à partir de quatre marchés canadiens : un marché représentatif canadien, Montréal-Ottawa, Montréal-Toronto et Toronto-Vancouver. Pour chacun de ces quatre marchés, le tableau 2.1 donne le nombre de voyages par mode (T_m), la part de chaque mode (S_m), les coûts d'utilisation de chacun des modes (C_m), la distance (*DIST*) et le revenu per capita de la zone d'origine (Y) en 1976. Le marché représentatif correspond aux valeurs moyennes de la banque de données de Transports Canada sur les voyages des personnes pour 155 paires de villes canadiennes durant l'année 1976.

Tableau 2.1
INFORMATION PAR MARCHÉ (1976)

	Marché représentatif	Montréal-Ottawa	Montréal-Toronto	Toronto-Vancouver
Voyages par mode :				
T_{auto}	106 650	1 710 000	899 630	1 366
T_{avion}	12 812	26 224	343 800	110 420
T_{train}	6 257	83 561	219 530	9 271
$T_{autocar}$	5 633	307 740	58 500	1 144
Parts modales :				
S_{auto}	0,81	0,80	0,59	0,01
S_{avion}	0,10	0,01	0,23	0,90
S_{train}	0,05	0,04	0,14	0,08
$S_{autocar}$	0,04	0,15	0,04	0,01
Coûts d'un aller par mode (1/100 $ canadien, 1976) :				
C_{auto}	5 115,5	605,0	1 662,0	14 998,0
C_{avion}	8 335,6	3 027,0	5 133,0	16 475,0
C_{train}	4 233,5	942,0	2 366,0	10 419,0
$C_{autocar}$	4 042,6	867,0	2 000,0	8 983,0
Distance (mille) :				
DIST	930,2	110,0	302,0	2 727,0
Coût d'un aller par mille parcouru (cents/mille) :				
$C_{auto}/DIST$	5,50	5,50	5,50	5,50
$C_{train}/DIST$	8,96	27,52	17,00	6,04
$C_{autocar}/DIST$	4,55	8,56	7,83	3,82
$C_{auto}/DIST$	4,35	7,88	6,62	3,29
Revenu per capita de la ville d'origine ($ canadien, 1976) :				
Y	4 241,0	4 270,4	4 270,4	4 508,8

Les modèles de la demande de transport qui font l'objet de la présente étude se regroupent en trois grandes catégories : les modèles probabilistes, les modèles de la répartition modale ou de parts de marché, et les modèles de génération-distribution. Un modèle probabiliste explique la probabilité qu'une personne choisisse un mode de transport pour un voyage interurbain. Un modèle de la répartition modale vise à rendre compte de la proportion des voyages par mode. Le nombre total de voyages dans un marché fait l'objet d'un modèle de génération-distribution.

En ce qui concerne les modèles de répartition modale et de génération-distribution, les élasticités pour un marché particulier tirées à partir d'une information agrégée telle que contenue dans le tableau 2.1 ne présentent pas de difficultés méthodologiques particulières. Il en va autrement pour les modèles probabilistes. En vue de comprendre la méthode de calcul des élasticités utilisée dans la présente étude, il est important de discuter brièvement de la méthode habituellement employée 1 pour le calcul des élasticités des modèles probabilistes.

2.2 MODÈLES PROBABILISTES : MESURES EXACTES ET APPROXIMÉES DES ÉLASTICITÉS

Tout d'abord, la calibration ou l'estimation d'un modèle probabiliste nécessite un échantillon constitué de l'information concernant les choix modaux pour un ensemble d'individus. Ainsi, pour chaque individu, on connaît le mode choisi, les prix et les temps de transport pour les modes qui lui sont disponibles, différentes caractéristiques socio-économiques (par exemple, sexe, emploi, âge, revenu, etc.).

Une fois le modèle évalué, on peut calculer pour chaque individu k de l'échantillon l'élasticité ($\eta^m_{C_m}$ (k)) de la demande de transport du mode m par rapport à son prix (C_m).

Dès lors, il est facile de connaître l'élasticité-prix d'un marché particulier ($\eta^m_{C_m}$(marché)), par exemple Montréal-Toronto; il suffit de tenir compte des élasticités individuelles et de la représentativité (f_k) des individus de l'échantillon,

$$\eta^m_{C_m}(\text{marché}) = \Sigma_k \eta^m_{C_m}(k) \cdot f_k \qquad (2.1)$$

Habituellement, le calcul de l'élasticité-prix pour l'individu k requiert trois informations : un paramètre (β), le prix du mode pour cet individu (C_m(k)) et la probabilité que l'individu k ne choisisse pas le mode m ($1 - prob_m$(k)). Plus précisément, on écrit[2] :

$$\eta^m_{C_m}(k) = \beta \cdot C_m(k) \cdot [1 - \text{prob}_m(k)] \qquad (2.2)$$

L'élasticité agrégée résulte donc d'une somme pondérée d'élasticités individuelles. Cette «méthode d'énumération» pour calculer les élasticités

agrégées nécessite l'échantillon qui a servi à la calibration du modèle. La comparaison des élasticités de modèles avec différents échantillons devient alors très fastidieuse et exclut, à toutes fins utiles, le genre d'analyse envisagée. Une autre solution doit être recherchée.

En vue d'obtenir des élasticités agrégées pour un marché (par exemple Montréal-Toronto) sans utiliser l'échantillon qui a servi à la calibration, nous nous proposons d'utiliser une approximation de l'élasticité-prix agrégée ($\eta^m_{C_m}$(approx.)). Pour ce faire, on applique la formule (2.2) d'élasticité-prix d'un individu en remplaçant le prix pour l'individu k (C_m(k)) par un prix représentatif du marché ($\overline{C_m}$) et on substitue la part de marché des autres modes, c'est à dire ($1 - S_m$), à ($1 - prob_m$(k)), la probabilité de ne pas choisir le mode m :

$$\eta^m_{C_m}(\text{approx.}) = \beta \cdot \overline{C_m} \cdot (1 - S_m) \qquad (2.3)$$

En comparant (2.3) aux deux formules précédentes, on s'aperçoit que cette approximation simplifie beaucoup le calcul des élasticités-prix puisque :

- l'élasticité-prix avec l'équation (2.3) requiert uniquement une seule valeur de prix pour chaque mode ($\overline{C_m}$);
- l'approximation de l'élasticité-prix agrégée ($\eta^m_{C_m}$(approx.)) est basée sur la part de marché observée (S_m) plutôt que sur la part calculée ($prob_m$(k)).

Plutôt que de calculer d'abord les élasticités pour chacun des individus de l'échantillon, puis de faire ensuite une moyenne pondérée de ces élasticités, l'approximation consiste à calculer directement *une* élasticité agrégée avec un prix moyen et la part de marché observée. À la partie 4 nous présentons deux exemples qui montrent que les écarts entre les élasticités agrégées exactes ($\eta^m_{C_m}$(marché)) et celles provenant de l'approximation ($\eta^m_{C_m}$(approx.)) sont minimes. Pour cette raison, et parce qu'elle simplifie de beaucoup les calculs, nous croyons que cette approximation est utile. Autrement, on ne pourrait comparer entre elles les élasticités provenant de modèles agrégés et désagrégés — en fait on ne pourrait même pas comparer entre elles les élasticités provenant de deux modèles désagrégés!

3. Les élasticités-prix de la demande de transport des personnes

Dans la présente partie, nous calculons les élasticités-prix des quatre marchés canadiens avec neuf modèles de demande. La situation des marchés correspond à celle de 1976. Le choix de 1976 s'explique par le fait que c'est la dernière année pour laquelle on dispose de l'information sur les voyages interurbains de tous les modes de transport au Canada.

Les modèles de demande étudiés sont les suivants :

Modèles probabilistes :

- Grayson (1981)
- HORIZONS (1989)
- Peat-Marwick (1990)
- Ridout-Miller (1989)
- Wilson et al (1990)
- Stopher-Prashker (1976)

Modèles de la répartition modale :

- PERAM
- SLAG (1977)
- Gaudry-Wills (1978)

Modèles de génération-distribution :

- HORIZONS (1989)
- Peat-Marwick (1990)
- PERAM
- SLAG (1977)
- Gaudry-Wills (1978)

À l'exception des modèles Grayson et Stopher-Prashker, les paramètres de tous les modèles ont été estimés avec des données canadiennes. Ces données proviennent de trois sources différentes : Transports Canada, l'*Enquête sur les voyages des Canadiens* (EVC) et VIA Rail. Les données de Transports Canada de l'année 1972 ont servi pour la calibration des modèles SLAG et Gaudry-Wills. Le modèle PERAM est basé sur la banque de données de Transports Canada de l'année 1976. Les modèles Ridout-Miller et Wilson et al sont estimés avec des données EVC de 1968 et 1982, respectivement. Finalement, les modèles Peat-Marwick et HORIZONS sont basés sur les données de VIA Rail de 1987.

3.1 PROPRIÉTÉS DES MODÈLES

Avant d'analyser les élasticités-prix marché par marché, il est opportun de discuter de certaines propriétés des modèles économétriques utilisés dans la présente étude. Une présentation plus formelle de ces modèles se retrouve à la partie 5.

3.1.1 L'influence des prix et des parts de marché sur les élasticités-prix

Le nombre de voyages par mode de transport peut être représenté comme étant le produit du nombre total de voyages par tous les modes de transport et de la part des voyagess du mode concerné. Dès lors, il s'ensuit que l'élasticité-prix de la demande de voyages d'un mode *m* (η^m (mode)) est nécessairement égale à la somme de l'élasticité-prix de la demande totale (η(totale)) et de l'élasticité-prix de la part des déplacements du mode *m* (η^m (part))[3].

$$\eta^m(\text{mode}) = \eta(\text{totale}) + \eta^m(\text{part}) \qquad (3.1)$$

Les élasticités-prix de la part modale (η^m(part)) sont évaluées avec les modèles probabilistes ou les modèles de répartition modale, tandis que les élasticités-prix de la demande totale (η(totale)) proviennent des modèles de génération-distribution. Dans la présente partie, il sera question de certaines propriétés liées aux élasticités-prix de la part modale (η^m(part)) et de la demande totale (η(totale)).

En général, les élasticités-prix des parts sont calculées avec trois éléments : des paramètres (β), la part de marché (S_m) et le prix (C_m). L'élasticité-prix du modèle linéaire Logit (voir, l'équation (2.3)) est un exemple précis de l'expression (3.2).

$$(\beta, S_m, C_m) \rightarrow \eta^m(\text{part}) \tag{3.2}$$

Il est vrai également (comme il est montré à la partie 5) que les élasticités totales dépendent aussi des paramètres (γ), des parts et du niveau des prix.

$$(\gamma, S_m, C_m) \rightarrow \eta(\text{totale}) \tag{3.3}$$

Il s'ensuit que les élasticités-prix du mode (η^m(mode)) varient d'un marché à un autre parce que les prix des modes et les parts de marché diffèrent. Nous discutons ci-après de l'effet isolé de la part de marché (effet-part) et de l'effet séparé du prix du mode (effet-prix) sur les élasticités-prix[4].

A. L'effet-part sur les élasticités-prix de la part modale

Élasticités propres : En ce qui concerne la relation des élasticités-prix par rapport à la demande, tous les modèles rapportés laissent supposer que l'élasticité-prix propre ($\eta^m_{C_m}$(part)) de la part modale diminue avec l'accroissement de la part du mode (S_m). *Ceteris paribus*, plus la part modale est élevée plus la sensibilité de la part modale est faible par rapport au prix de ce mode (C_m). Nous appellerons P.1 cette première propriété :

$$\Delta^+ S_m \rightarrow \Delta^- \eta^m_{C_m}(\text{part}) \tag{P.1}$$

Élasticités croisées : Par ailleurs, les élasticités-prix croisées ($\eta^m_{C_l}$(part)) sont directement proportionnelles à la part du mode (S_l) dont le changement de prix (C_l) est considéré, c'est-à-dire l'élasticité-prix du mode *m* par rapport au prix du mode *l* augmente avec la part du mode *l*. Selon la propriété P.1, une part modale élevée du mode *l* signifie peu d'ajustement de ce mode à un changement de son prix; les ajustements s'effectuent davantage par les autres modes de transport. Elle suppose une seconde propriété :

$$\Delta^+ S_l \rightarrow \Delta^+ \eta^m_{C_l}(\text{part}) \tag{P.2}$$

B. L'effet-part sur l'élasticité-prix de la demande totale

Les élasticités de la demande totale de transport (η(totale)) par rapport aux prix des modes de transport sont directement proportionnelles aux parts de marché des modes : plus la part d'un mode est élevée et plus la demande totale sera sensible à des variations du prix du mode en question. À la limite, la demande totale ne sera pas du tout affectée par des variations du prix d'un mode dont la part de marché est nulle.

$$\Delta^{+} S_m \rightarrow \Delta^{+} \eta_{C_m}(\text{totale}) \qquad \text{P.3}$$

C. *L'effet-prix sur les élasticités-prix de la part modale*

On a vu que l'effet-part sur les élasticités-prix est le même pour tous les modèles considérés : l'élasticité croisée de la part modale et l'élasticité de la demande totale augmentent, et l'élasticité propre de la part modale diminue. Il en va autrement pour les changements du prix d'un mode. En effet, une augmentation du prix d'un mode indique que les élasticités-prix augmentent, diminuent ou sont invariantes selon le modèle considéré.

A priori, on s'attend que l'élasticité-prix de la part modale augmente avec le prix. Les modèles Peat-Marwick, Ridout-Miller, HORIZONS, Grayson et Stopher-Prashker se conforment à cette règle pour les élasticités propres et croisées.

$$\Delta^{+} C_m \rightarrow \Delta^{+} \eta^{m}_{C_m}(\text{part}), \quad \Delta^{+} \eta^{l}_{C_m}(\text{part}) \qquad \text{P.4}$$

Les élasticités-prix de la part modale des modèles PERAM et SLAG possèdent la propriété d'être invariantes par rapport au prix des modes. Puisque ces élasticités réflètent des conditions d'estimation de l'échantillon, il est alors utile de garder à l'esprit que leurs comparaisons avec d'autres modèles peuvent surprendre lorsqu'il s'agit de prix trop différents des moyennes des échantillons.

$$\Delta^{+} C_m \rightarrow \eta^{m}_{C_m}(\text{part}) \text{ constante}, \ \eta^{l}_{C_m}(\text{part}) \text{ constante} \qquad \text{P.5}$$

Les élasticités-prix des modèles Gaudry-Wills et Wilson et al diminuent avec une augmentation du prix. Le prix d'un mode dans le modèle Wilson et al correspond au coût d'un voyage divisé par la distance. Il est d'ailleurs très

instructif de remarquer que Wilson et al (1990) désignent cette variable comme coût unitaire du voyage. Le résultat s'ensuit si, comme c'est le cas pour les marchés étudiés, le coût d'utilisation par unité de distance diminue à mesure que la distance augmente (voir le tableau 2.1). Le modèle Gaudry-Wills spécifie le coût du mode comme variable explicative, mais la transformation de Box-Cox qui lui est imputée entraîne le même résultat[5].

$\Delta^{+}C_m \rightarrow \Delta^{-}\eta^{m}_{C_m}(\text{part}), \quad \Delta^{-}\eta^{l}_{C_m}(\text{part})$	P.6

Discussion : À notre avis, il est raisonnable que l'élasticité-prix de la part augmente avec une augmentation de prix. Sachant que le prix doit être défini de façon à représenter le coût unitaire d'obtention du bien, la question est de savoir si le prix devrait être défini par unité de distance ou par marché. Cette question est tributaire de celle qui définit le bien de consommation : est-ce que le bien demandé est une distance ou un nombre de voyages à l'intérieur d'un marché donné? Il nous semble que cette question qui porte sur la formulation même des modèles de la demande interurbaine n'a pas eu l'attention qu'elle mérite. En raison de la difficulté que pose cette question, nous jugeons qu'une discussion approfondie nous éloignerait trop des buts de la présente étude. Des éléments de réponse peuvent toutefois être trouvés dans Dagenais et Gaudry (1986). Il est quand même intéressant de souligner que l'approche des transformations de Box-Cox telle que retenue par le modèle Gaudry-Wills contourne la question en laissant les données décider de la formulation adéquate.

D. L'effet-prix sur l'élasticité-prix de la demande totale

L'effet-prix sur l'élasticité-prix de la demande totale est similaire à l'effet-prix sur l'élasticité-prix de la part modale. Ainsi, les élasticités-prix de la demande totale avec les modèles de génération-distribution Peat-Marwick et HORIZONS augmentent avec le prix du mode (de manière analogue à P.4); les modèles de génération-distribution PERAM et SLAG génèrent des élasticités-prix de la demande totale qui ne sont pas affectées par le prix (de manière analogue à P.5); les élasticités-prix de la demande totale avec le modèle de génération-distribution Gaudry-Wills diminuent avec le prix du mode (de manière analogue à P.6). Ce résultat s'explique parce que les modèles de génération-distribution utilisent généralement la même formulation pour les prix des modes dans les modèles de la répartition modale.

On pourrait donc réécrire les propriétés P.4, P.5 et P.6 en substituant le terme «totale» au terme «part», désigner les expressions P.4*, P.5* et P.6* et les associer aux mêmes sous-groupes de modèles.

3.1.2 Les élasticités croisées

La partie précédente relevait les causes de variations des élasticités-prix d'un marché à l'autre. Nous portons maintenant notre attention sur une propriété des élasticités croisées, pour les modèles considérés, qui s'applique, peu importe le marché étudié.

À l'exception du modèle HORIZONS, une des particularités que possèdent les modèles de demande rapportés dans la présente étude concerne l'égalité des élasticités-prix croisées des parts modales.

$$\eta^{avion}_{C_{auto}}(part) = \eta^{train}_{C_{auto}}(part) = \eta^{autocar}_{C_{auto}}(part)$$

$$\eta^{auto}_{C_{avion}}(part) = \eta^{train}_{C_{avion}}(part) = \eta^{autocar}_{C_{avion}}(part)$$

$$\eta^{auto}_{C_{train}}(part) = \eta^{avion}_{C_{train}}(part) = \eta^{autocar}_{C_{train}}(part)$$

$$\eta^{auto}_{C_{autocar}}(part) = \eta^{avion}_{C_{autocar}}(part) = \eta^{train}_{C_{autocar}}(part)$$

P.7

3.1.3 Indice de substitution modale

Une des questions qui nous intéresse concerne la possibilité de substitution des modes de transport. Les élasticités-prix croisées des modes de transport servent évidemment à répondre à cette question. Toutefois, leurs interprétations peuvent être quelque peu ardues. En cas de substitution des modes, l'élasticité-prix croisée nous informe qu'une augmentation du prix du mode autocar augmentera les demandes des autres modes de transport d'un certain pourcentage. Cependant, il n'est pas clair quelle est l'importance cumulative de ces diversions par rapport au changement de la demande du mode autocar. En vue de faciliter la discussion à ce sujet, nous avons développé un indice de substitution modale.

À la suite d'un changement du prix d'un mode, la variation de la demande de ce mode peut être décomposée en deux effets : d'une part, il y a un effet de diversion ou de substitution modale; et d'autre part, il y a un effet de demande induite ou un ajustement de la demande totale des voyages.

L'indice de substitution modale indique la proportion de la variation de la demande du mode qui est liée à l'effet de substitution. Par exemple, un indice de substitution modale de 0,75 pour l'autocar signifie que, à la suite d'une diminution du prix du mode autocar, 75 pour cent de l'augmentation des voyageurs en autocar provient d'une diversion ou d'une réduction de la demande des autres modes de transport et 25 pour cent de l'augmentation de la demande pour le mode autocar est une demande induite.

Spécifiquement, l'indice de substitution modale du mode m (θ_m^S) est calculé avec la part de marché du mode m et les élasticités de la demande totale et de la demande du mode m par rapport au prix du mode m.

$$\theta_m^S = 1 - \frac{\eta_{C_m}(\text{totale})}{\eta_{C_m}^m(\text{mode})\ S_m} \tag{3.4}$$

La dérivation de l'indice de substitution modale est contenue dans la partie 5.2. Après quelques transformations, on peut aussi écrire l'indice de substitution modale comme suit,

$$\theta_m^S = \frac{1 - S_m}{1 + (\alpha - 1)S_m} \tag{3.5}$$

où le paramètre α indique l'élasticité de la demande totale par rapport à un niveau de service agrégé de tous les modes. Comme mentionné à la partie 2.2, le calcul des élasticités est basé sur la part de marché observée (S_m) plutôt que sur la part calculée; il est clair d'après l'équation (3.5) que l'indice de substitution modale varie d'un modèle à l'autre uniquement si le paramètre α change.

Les modèles PERAM, SLAG, Gaudry-Wills, HORIZONS et Peat-Marwick comportent tous un modèle de la demande totale des voyages qui permet une estimation du paramètre α. En vue de calculer des élasticités-prix de la demande totale et des indices de substitution modale avec les modèles probabilistes, une valeur du paramètre α doit être supposée. Pour des raisons qui font l'objet d'une discussion à la section 3.3, la valeur du paramètre α pour les modèles Ridout-Miller et Grayson est la même que celle estimée par le modèle Peat-Marwick. Les modèles Wilson et al et Stopher-Prashker

prennent la même valeur de α que celle du modèle PERAM. On obtient donc la propriété suivante,

$$\theta^S_m(\text{Peat-Marwick}) = \theta^S_m(\text{Ridout-Miller}) = \theta^S_m(\text{Grayson})$$

$$\theta^S_m(\text{PERAM}) = \theta^S_m(\text{Wilson et al}) = \theta^S_m(\text{Stopher-Prashker})$$

P.8

3.2 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Pour chacun des marchés étudiés, un tableau en trois parties présente les élasticités-prix liées aux modèles de demande. La première partie, la partie **a** du tableau, contient les élasticités-prix propres, c'est-à-dire la sensibilité de la demande du mode concerné par rapport à son prix. La seconde partie, la partie **b** du tableau, présente les élasticités-prix croisées, c'est-à-dire la sensibilité de la demande du mode concerné par rapport au prix d'un autre mode. Enfin, la troisième partie, la partie **c** du tableau, contient les élasticités-prix de la demande totale de transport (tous les modes) par rapport aux prix de chacun des modes ainsi que les indices de substitution modale.

Plus précisément, les élasticités-prix pour le niveau de la demande modale (η^m(mode)) se retrouvent dans les colonnes 1, 2, 3 et 4 de la partie **a**. Ainsi, d'après le modèle Peat-Marwick, l'élasticité de la demande de voyages en auto par rapport au prix d'un voyage en auto pour le marché représentatif (voir tableau 3.1 **a**) est de –1,37, l'élasticité de la demande de voyages en avion par rapport au prix d'un voyage en avion est de –5,44, etc. Les colonnes 5, 6, 7 et 8 contiennent les élasticités-prix de la part modale (η^m(part)). Toujours selon le modèle Peat-Marwick, l'élasticité-prix de la part des voyages en auto par rapport au prix d'un voyage en auto est de –0,68, et l'élasticité de la part des voyages en avion par rapport au prix d'un aller en avion est de –5,31, etc.

Une des particularités que possèdent les modèles de demande rapportés dans la présente étude, à l'exception du modèle HORIZONS, a trait au fait que les élasticités-prix croisées des demandes modales sont toutes égales (voir propriété P.7). Ainsi le modèle Peat-Marwick évalue à 2,24 l'élasticité de la demande de transport en avion, en train ou en autocar par rapport au prix d'un voyage en auto (voir tableau 3.1 **b**). Toujours selon le modèle Peat-Marwick, l'élasticité de la demande de transport en auto, en train ou en autocar par rapport au prix d'un voyage en avion serait de 0,44. Les

élasticités croisées du modèle HORIZONS dans la partie **b** sont des moyennes : l'annexe 1 regroupe toutes les élasticités propres et croisées du modèle HORIZONS.

Comme on le sait, les élasticités-prix de la demande modale (η^m(mode)) sont égales à la somme des élasticités-prix de la part modale (η^m(part)) et de la demande totale (η(totale)). Ainsi, avec le modèle Peat-Marwick, les élasticités propres et croisées par rapport au prix d'un aller en auto, –1,37 et 2,24 (tableau 3.1 **a** et **b**, col.1), sont égales à la somme des élasticités propres et croisées de part modale par rapport au prix d'un aller en auto, –0,68 et 2,93 (tableau 3.1 **a** et **b**, col. 5), et de l'élasticité de la demande totale par rapport au prix d'un aller en auto, -0,70 (tableau 3.1 **c**, col. 1).

Les indices de substitution modale pour le marché représentatif figurent dans la partie de droite du tableau 3.1 **c**, c'est-à-dire dans les colonnes 5 à 8. Ainsi, avec le modèle Peat-Marwick, l'indice de substitution modale pour l'autocar serait de 0,75 : à la suite d'une diminution du prix du mode autocar, 75 pour cent de l'augmentation des voyageurs en autocar provient d'une diversion ou d'une réduction de la demande des autres modes de transport et 25 pour cent de l'augmentation de la demande pour le mode autocar est une demande induite.

Tableau 3.1
MARCHÉ REPRÉSENTATIF (1976)

(a) Élasticités-prix propres

Modèle	Élasticités-prix propres des modes de transport				Élasticités-prix propres des parts modales			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
Peat-Marwick	–1,37	–5,44	–2,88	–2,76	–0,68	–5,31	–2,85	–2,73
Ridout-Miller	–1,06	–4,13	–2,18	–2,09	–0,52	–4,02	–2,16	–2,07
Gaudry-Wills	–0,55	–1,34	–1,64	–1,66	–0,31	–1,32	–1,63	–1,65
PERAM	–0,40	–1,49	–1,45	–1,46	–0,17	–1,44	–1,43	–1,44
SLAG	–1,26	–2,55	–2,63	–2,64	–0,51	–2,46	–2,59	–2,60
Wilson et al	–0,46	–1,57	–0,83	–0,79	–0,19	–1,52	–0,81	–0,78
HORIZONS	–1,90	–1,98	–0,97	–0,73	–0,50	–1,86	–0,93	–0,71
Grayson	–0,66	–2,56	–1,35	–1,30	–0,32	–2,49	–1,34	–1,28
Stopher-Prashker	–1,77	–3,69	–3,83	–3,84	–0,74	–3,57	–3,77	–3,79

Tableau 3.1 (suite)
MARCHÉ REPRÉSENTATIF (1976)

(b) Élasticités-prix croisées

Modèle	Élasticités croisées des modes de transport par rapport aux prix				Élasticités croisées des parts modales par rapport aux prix			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
Peat-Marwick	2,24	0,44	0,11	0,09	2,93	0,57	0,14	0,12
Ridout-Miller	1,67	0,32	0,08	0,07	2,22	0,44	0,11	0,09
Gaudry-Wills	1,08	0,12	0,07	0,06	1,33	0,14	0,08	0,07
PERAM	0,50	0,11	0,05	0,04	0,73	0,16	0,07	0,06
SLAG	1,46	0,18	0,09	0,08	2,21	0,27	0,13	0,12
Wilson et al	0,57	0,11	0,03	0,02	0,84	0,16	0,04	0,04
HORIZONS	0,77	0,15	−0,02	−0,02	2,17	0,27	0,01	0,01
Grayson	1,04	0,20	0,05	0,04	1,38	0,27	0,07	0,06
Stopher-Prashker	2,18	0,26	0,13	0,12	3,21	0,39	0,19	0,17

(c) Élasticités-prix de la demande totale et indices de substitution modale

Modèle	Élasticités de la demande totale par rapport aux prix				Indices de substitution modale (θ_m^s)			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
Peat-Marwick	−0,72	−0,14	−0,04	−0,03	0,36	0,73	0,74	0,75
Ridout-Miller	−0,55	−0,11	−0,03	−0,02	0,36	0,73	0,74	0,75
Gaudry-Wills	−0,25	−0,03	−0,02	−0,01	0,45	0,80	0,81	0,81
PERAM	−0,23	−0,05	−0,02	−0,02	0,29	0,66	0,67	0,67
SLAG	−0,75	−0,09	−0,04	−0,04	0,27	0,64	0,65	0,65
Wilson et al	−0,27	−0,05	−0,01	−0,01	0,29	0,66	0,67	0,67
HORIZONS	−1,40	−0,12	−0,03	−0,02	0,09	0,37	0,29	0,28
Grayson	−0,34	−0,07	−0,02	−0,01	0,36	0,73	0,74	0,75
Stopher-Prashker	−1,03	−0,12	−0,06	−0,05	0,29	0,66	0,67	0,67

3.3 MARCHÉ REPRÉSENTATIF

Débutons l'analyse des élasticités avec un marché représentatif des voyages interurbains défini par les valeurs moyennes de l'échantillon de Transports Canada de 1976 contenues dans le tableau 2.1. Après l'analyse des élasticités-prix des neuf modèles économétriques, des élasticités-prix pour le marché représentatif sont suggérées. Une discussion de la substitution modale termine la présente partie.

Analyse : L'analyse qui suit est basée sur les élasticités-prix des parts modales et de la demande totale. Les six premières remarques (R.1 à R.6) portent sur les élasticités-prix des parts modales que l'on retrouve dans les colonnes 5, 6, 7 et 8 du tableau 3.1 **a** et **b**. On peut facilement vérifier si ces remarques s'appliquent également aux élasticités-prix des demandes modales.

R.1 : Sauf pour l'auto, la part d'un mode de transport est plus sensible à des variations de son prix qu'à des variations des prix des autres modes; autrement dit, les élasticités propres sont supérieures aux élasticités croisées (col. 6, 7 et 8 du tableau 3.1 **a** et **b**).

R.2 : L'importance relative des élasticités-prix croisées est similaire à celle des parts relatives des modes. Ainsi le prix du mode auto, qui a la plus grande part de marché (81 pour cent), influence le plus les autres modes de transport. L'effet du prix des modes avion, train et autocar décroît comme leurs parts de marché (col. 5 à 8 du tableau 3.1 **b**).

Les deux premières remarques s'expliquent par le fait que la part du mode auto est de 81 pour cent, ce qui cause une élasticité propre faible du mode auto (propriété P.1) et des élasticités croisées élevées par rapport au prix du mode auto (propriété P.2). En effet, on sait que les modèles de demande sont tels que le mode dominant aura une élasticité propre relativement faible et des élasticités croisées par rapport au prix du mode dominant relativement élevées. L'inverse est vrai pour les modes avec de faibles parts de marché (élasticités propres élevées et élasticités croisées faibles).

R.3 : Les élasticités du modèle SLAG diffèrent peu de celles des modèles Peat-Marwick, Ridout-Miller et Stopher-Prashker.

Comme on le verra à l'étude des autres marchés, les élasticités-prix des modèles Peat-Marwick, Ridout-Miller et Stopher-Prashker ne sont jamais très différentes. Il est intéressant de remarquer que les deux modèles probabilistes Ridout-Miller et Peat-Marwick furent tous deux dérivés du modèle Logit multinômial basé sur des déplacements dans le corridor Québec-Windsor. Cependant, la banque de données du modèle Ridout-Miller date de 1969 et celle du modèle Peat-Marwick de 1989. Vingt années plus tard, la sensibilité des voyageurs par rapport au prix n'a pas changé! Ce résultat répond à une des questions posées dans l'introduction : est-ce que des

modèles calibrés à différentes périodes sont comparables? Il semble bien exister une transférabilité des résultats dans le temps.

Le modèle Stopher-Prashker est aussi un modèle Logit multinômial et fut dérivé d'un échantillon de voyages portant sur 22 paires de villes américaines en 1972. Les similitudes de ce modèle avec les deux autres sont aussi intéressantes en ce qu'elles confirment la transférabilité des résultats dans le temps et suggèrent même la transférabilité des résultats dans l'espace.

R.4 : La structure des élasticités du modèle HORIZONS diffère de celle des autres modèles.

Tout comme le modèle Peat-Marwick, le modèle HORIZONS est calibré avec la banque de données de Via Rail de 1989. Le modèle Peat-Marwick retient la formulation générale du Logit multinômial et présume que le voyageur choisit un mode à partir d'une comparaison simultanée des niveaux de service. Cependant, le modèle HORIZONS utilise le Logit emboîté («nested») et suppose que le processus de choix est séquentiel : dans un premier temps le choix se fait entre le caractère privé ou public d'un mode, puis, si nécessaire, le choix s'effectue entre l'utilisation de la voie aérienne ou terrestre; enfin, le voyageur décide entre le train et l'autocar. Puisque l'échantillon utilisé pour la calibration des modèles Peat-Marwick et HORIZONS est sensiblement le même, l'hypothèse du choix séquentiel doit être responsable des écarts entre les élasticités-prix du modèle HORIZONS et celles du modèle Peat-Marwick.

R.5 : Les modèles PERAM, Gaudry-Wills, Wilson et al et Grayson donnent des résultats similaires.

Les modèles de demande agrégée Gaudry-Wills et PERAM obtiennent sensiblement les mêmes élasticités. Ici encore, l'hypothèse de transférabilité dans le temps des résultats semble se vérifier puisque les deux modèles utilisent des périodes de calibration différentes : 1972 et 1976, respectivement. Les ressemblances entre les résultats de ces deux modèles se retrouveront aussi dans l'étude des autres marchés. Ceci n'est pas surprenant car les deux modèles utilisent sensiblement la même banque de données et les mêmes variables explicatives. Le modèle Gaudry-Wills généralise le modèle PERAM en appliquant les transformations de Box-Cox et de Box-Tukey aux variables explicatives.

R.6 : Malgré les ressemblances signalées précédemment, il existe des écarts importants entre les élasticités-prix : les élasticités-prix propres de la part du mode avion varient de –5,3 à –1,3, et celles des modes train et autocar de –2,8 à –0,8. Les valeurs les plus élevées proviennent des modèles Peat-Marwick, Ridout-Miller et SLAG; contrairement aux élasticités propres, les élasticités croisées diffèrent davantage pour la part du mode auto que pour les modes publics.

Cette dernière remarque s'explique par les propriétés P.1 et P.2. On se souvient que les trois déterminants des élasticités-prix sont : les paramètres, la part de marché et le prix. Puisque nous utilisons la même banque de données, ces variations des élasticités d'un modèle à l'autre proviennent uniquement du fait que chaque modèle possède des paramètres distincts. L'effet de ces paramètres est plus perceptible lorsque l'effet-part est important. C'est le cas pour les élasticités propres des modes avion, train et autocar (tableau 3.1 **a**, col. 6-9), et les élasticités croisées par rapport au prix de l'auto (tableau 3.1 **b**, col. 6).

Les élasticités élevées du modèle agrégé SLAG par rapport aux deux autres modèles agrégés surprennent. Cela ne peut être causé par la formulation du modèle SLAG, car elle est semblable à celle du modèle PERAM. Il faut donc chercher du côté de l'échantillon utilisé pour la calibration du modèle. Les modèles Gaudry-Wills et SLAG sont tous deux estimés à partir d'un échantillon de l'année 1972. Toutefois, le nombre de paires de villes est de 92 pour le modèle Gaudry-Wills et de 94 pour le modèle SLAG. N'ayant pas la liste exacte des paires de villes contenues dans les échantillons, on ne peut que conjecturer que les deux paires de villes soient responsables des elasticités élevées du modèle SLAG. Nous décidons donc d'exclure le modèle SLAG pour les comparaisons des autres marchés.

Il est évident que la capacité d'un modèle à produire des estimations fiables est réduite lorsqu'il est appliqué à des marchés trop différents de ceux qui ont servi à sa calibration. Les modèles probabilistes Peat-Marwick, Ridout-Miller, HORIZONS, Grayson et Stopher-Prashker, qui ont été calibrés avec des marchés dont les distances et les prix sont inférieurs à ceux du marché représentatif, donnent des élasticités que nous ne jugeons pas dignes de foi. En effet, puisque les élasticités-prix de ces modèles sont directement proportionnelles aux prix (voir propriété P.4), ces modèles ne sont pas applicables avec des prix «relativement élevés». En vue de suggérer des

élasticités pour le marché représentatif, il nous semble alors nécessaire d'exclure les modèles Peat-Marwick, Ridout-Miller, HORIZONS, Grayson et Stopher-Prashker.

R.7 : On reconnaît deux ensembles de sensibilités de la demande totale par rapport aux prix des modes de transport : le premier ensemble constitué des modèles Peat-Marwick, Ridout-Miller, SLAG, HORIZONS et Stopher-Prashker suppose des demandes plus élastiques que le second ensemble, composé des modèles Gaudry-Wills, PERAM, Wilson et al et Grayson (tableau 3.1 **c**).

R.8 : Tous les modèles indiquent que la demande totale est la plus influencée par le prix du mode auto, en second lieu celui de l'avion, puis par le prix du train. La demande totale est pratiquement invariante par rapport au prix du mode autocar (tableau 3.1 **c**).

Puisque les modèles Peat-Marwick et HORIZONS sont calibrés avec un échantillon des déplacements du corridor Québec-Windsor, il n'est pas surprenant d'obtenir une demande totale de transport plus élastique que la demande totale pour des voyages répartis partout au Canada. La remarque R.8 est une conséquence directe de l'effet-part expliqué dans la section 3.1 (voir propriété P.3).

Valeurs retenues : Les élasticités-prix des modèles Gaudry-Wills, PERAM, Wilson et al et Grayson sont suffisamment homogènes pour nous permettre de retenir les élasticités du tableau 3.2 basées sur le modèle PERAM.

Tableau 3.2
ÉLASTICITÉS-PRIX ET INDICES DE SUBSTITUTION RETENUS, MARCHÉ REPRÉSENTATIF (1976)

(a) Élasticités-prix propres et croisées

	Élasticités-prix des modes de transport				Élasticités-prix des parts modales			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
Élasticités propres	−0,40	−1,49	−1,45	−1,46	−0,17	−1,44	−1,43	−1,44
Élasticités croisées	0,50	0,11	0,05	0,04	0,73	0,16	0,07	0,06

(b) Élasticités-prix de la demande totale et indices de substitution modale

	Élasticités de la demande totale par rapport aux prix				Indices de substitution modale (θ_m^S)			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
	−0,23	−0,05	−0,02	−0,02	0,29	0,66	0,67	0,67

L'examen des élasticités propres montre que la demande de voyages en auto est clairement inélastique : à la suite d'une augmentation du prix, la demande de voyages en auto va réagir moins que proportionnellement. À l'opposé, la demande du mode avion est modérément élastique. À cause des faibles parts de marché des modes train et autocar, 5 pour cent et 4 pour cent respectivement, il y a une plus grande dispersion des estimations pour les élasticités propres de ces modes. La sensibilité de la demande des modes train et autocar semble se situer entre les deux autres mais ressemble davantage à l'élasticité du mode avion qu'à celle du mode automobile.

Substitution entre les modes : Les élasticités croisées par rapport au prix des modes train (0,05) et autocar (0,04) sont faibles. À première vue, elles semblent négligeables et pourraient suggérer l'absence de substitution entre les modes. Cependant, il est assez facile de démontrer qu'il en est tout autrement et qu'une forte substitution modale existe. Examinons, par exemple, l'incidence d'une hausse de 50 pour cent du prix du transport par train sur les demandes des modes de transport. Étant donné l'élasticité propre de la demande de train (−1,45), la demande de train diminue de 72,5 pour cent (−1,45 × 50 pour cent), soit une réduction de 4 536 (6 257 × 0,725) voyages. Puisque l'indice de substitution du mode train est de 67 pour cent, ceci signifie que de ces 4 536 voyages, 1 497 (4 536 × 0,33) voyages contribuent à réduire la demande totale et 3 039 voyages (4 536 × 0,67) s'effectueront avec les autres modes. Ainsi, l'ajustement de la demande de train s'effectue à

67 pour cent par le biais d'une substitution modale et 33 pour cent de cet ajustement diminue le nombre total de voyages.

L'étude des modes avion et autocar conduit à la même conclusion : à la suite d'un changement du prix d'un mode public, les variations de la demande de ce mode public sont compensées à 66 pour cent par des variations équivalentes des autres modes (publics ou privés).

Une hausse de prix de l'auto signifie que 29 pour cent de la diminution de la demande auto est compensée par une augmentation de l'achalandage des modes publics. Même s'il s'agit d'un effet de substitution important, il demeure inférieur aux effets de substitution provoqués par des changements de prix des modes publics.

3.4 ÉTUDE DES MARCHÉS

Après avoir fait diverses observations pour le marché représentatif, nous examinons maintenant les élasticités-prix pour trois marchés spécifiques : Montréal-Ottawa, Montréal-Toronto et Toronto-Vancouver.

3.4.1 Le marché Montréal–Ottawa

Analyse : Avec le marché Montréal-Ottawa, la discussion entreprise à la section 3.1 sur l'effet du prix sur l'élasticité-prix prend tout son sens. En effet, à partir du tableau 3.3 **a**, **b**, et **c**, on constate que les trois catégories de modèles, identifiées par les propriétés P.4, P.5 et P.6, donnent des élasticités relativement différentes ; les modèles dont l'élasticité-prix est directement proportionnelle au prix (Peat-Marwick, Ridout-Miller, HORIZONS, Grayson et Stopher-Prashker) donnent des élasticités relativement faibles; les modèles dont l'élasticité-prix est inversement proportionnelle au prix (Gaudry-Wills et Wilson et al) produisent des élasticités-prix relativement élevées; enfin, le modèle PERAM donne des élasticités comprises entre les deux premières puisque l'élasticité-prix est invariante au prix.

On sait que, en moyenne, les prix qui ont servi à calibrer le modèle Gaudry-Wills correspondent aux prix du marché représentatif. Les prix du marché Montréal-Ottawa constituent donc des valeurs «extrêmes» pour le modèle Gaudry-Wills, car, comparativement au marché représentatif, les prix du marché Montréal-Ottawa sont relativement très bas. Puisque le modèle

Gaudry-Wills génère des élasticités inversement proportionnelles aux prix (voir propriété P.6), il n'est donc pas surprenent d'obtenir des valeurs importantes pour les élasticités de ce modèle. Le même raisonnement s'applique aux modèles PERAM et Wilson et al. En conséquence, nous jugeons opportun de ne pas retenir les modèles Gaudry-Wills, PERAM, et Wilson et al pour le marché Montréal-Ottawa.

Valeurs retenues : Les modèles Peat-Marwick, Ridout-Miller, HORIZONS, Grayson et Stopher-Prashker donnent des élasticités propres assez homogènes. Comme c'était le cas avec le marché représentatif, les plus grands écarts proviennent du mode avec la plus petite part de marché, celui-ci étant le mode air dans le marché Montréal-Ottawa. Les estimations sont toutefois suffisamment semblables pour nous permettre de retenir les élasticités du tableau 3.4 basées sur le modèle Peat-Marwick.

Tableau 3.3
MARCHÉ MONTRÉAL-OTTAWA (1976)

(a) Élasticités-prix propres

Modèle	Élasticités-prix propres des modes de transport				Élasticités-prix propres des parts modales			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
Peat-Marwick	−0,17	−2,12	−0,65	−0,54	−0,08	−2,11	−0,64	−0,52
Ridout-Miller	−0,13	−1,59	−0,47	−0,41	−0,06	−1,59	−0,48	−0,39
Gaudry-Wills	−0,79	−1,82	−2,28	−2,10	−0,50	−1,82	−2,27	−2,05
PERAM	−0,41	−1,59	−1,46	−1,35	−0,18	−1,58	−1,44	−1,28
Wilson et al	−0,47	−5,12	−1,57	−1,33	−0,20	−5,10	−1,55	−1,27
HORIZONS	−0,23	−0,78	−0,19	−0,16	−0,06	−0,77	−0,19	−0,14
Grayson	−0,08	−0,99	−0,30	−0,26	−0,04	−0,99	−0,30	−0,25
Stopher–Prashker	−0,21	−1,43	−0,86	−0,77	−0,09	−1,42	−0,85	−0,73

(b) Élasticités-prix croisées

Modèle	Élasticités croisées des modes de transport par rapport aux prix				Élasticités croisées des parts modales par rapport aux prix			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
Peat-Marwick	0,26	0,02	0,02	0,07	0,34	0,03	0,03	0,09
Ridout-Miller	0,20	0,02	0,02	0,05	0,26	0,02	0,02	0,07
Gaudry-Wills	1,78	0,02	0,08	0,30	2,06	0,02	0,09	0,35
PERAM	0,49	0,01	0,04	0,15	0,72	0,02	0,06	0,22
Wilson et al.	0,56	0,04	0,04	0,15	0,83	0,06	0,06	0,21
HORIZONS	0,09	0,01	0,00	0,00	0,25	0,01	0,01	0,02
Grayson	0,12	0,01	0,01	0,03	0,16	0,01	0,01	0,04
Stopher-Prashker	0,26	0,01	0,02	0,08	0,38	0,02	0,04	0,12

Tableau 3.3 (suite)
Marché Montréal-Ottawa (1976)

(c) Élasticités-prix de la demande totale et indices de substitution modale

Modèle	Élasticités de la demande totale par rapport aux prix				Indices de substitution modale (θ^{e}_{m})			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
Peat-Marwick	−0,09	−0,01	−0,01	−0,02	0,37	0,75	0,75	0,72
Ridout-Miller	−0,06	−0,01	−0,01	−0,02	0,37	0,75	0,75	0,72
Gaudry-Wills	−0,28	0,00	−0,01	−0,05	0,55	0,86	0,86	0,84
PERAM	−0,23	−0,01	−0,02	−0,07	0,29	0,68	0,67	0,65
Wilson et al	−0,27	−0,02	−0,02	−0,07	0,29	0,68	0,67	0,65
HORIZONS	−0,16	−0,01	−0,01	−0,02	0,10	0,42	0,20	0,29
Grayson	−0,04	0,00	0,00	−0,01	0,37	0,75	0,75	0,72
Stopher-Prashker	−0,12	−0,01	−0,01	−0,04	0,29	0,68	0,67	0,65

Tableau 3.4
Élasticités-prix et indices de substitution retenus, marché Montréal-Ottawa (1976)

(a) Élasticités-prix propres et croisées

	Élasticités-prix des modes de transport				Élasticités-prix des parts modales			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
Élasticités propres	−0,17	−2,12	−0,65	−0,54	−0,08	−2,11	−0,64	−0,52
Élasticités croisées	0,26	0,02	0,02	0,07	0,34	0,03	0,03	0,09

(b) Élasticités-prix de la demande totale et indices de substitution modale

	Élasticités de la demande totale par rapport aux prix				Indices de substitution modale (θ^{s}_{m})			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
	−0,09	−0,01	−0,01	−0,02	0,37	0,75	0,75	0,72

Contrairement au marché représentatif, les élasticités-prix des modes train et autocar sont inélastiques pour le marché Montréal-Ottawa. Donc le mode avion est le seul à avoir une demande élastique, tous les modes terrestres ayant une demande inélastique inférieure à −0,65.

Substitution entre les modes : L'indice de substitution du mode auto (0,37) signifie que 37 pour cent de la diminution de la demande du mode auto, à la suite d'une augmentation du prix de l'auto, s'ajoute à la demande des

modes publics. Cependant, la majeure partie, 63 pour cent, de la réduction de la demande auto contribue à diminuer la demande totale. Même si l'effet de substitution du mode privé vers les modes publics est faible, il influence quand même, d'une façon non négligeable, les parts modales des modes publics. En effet, l'élasticité croisée (0,26) des modes publics par rapport au prix du mode auto est relativement élevée.

Une variation du prix d'un mode public affectera principalement les parts de marché et laissera la demande totale relativement inchangée. En effet, l'ajustement de la demande d'un mode public à la suite d'un changement de son prix s'effectuera à 75 pour cent pour les modes avion et train, et à 72 pour cent pour le mode autocar par le biais d'une substitution modale.

3.4.2 Le marché Montréal-Toronto

Analyse : Les élasticités du marché Montréal-Toronto apparaissent au tableau 3.6 **a**, **b** et **c**. Des quatre marchés étudiés, c'est celui où l'homogénéité des élasticités est la plus manifeste. La seule différence systématique provient des modèles HORIZONS et Grayson, qui donnent des estimations nettement plus faibles pour les élasticités propres des modes train et autocar. On peut penser que l'hypothèse du processus de choix séquentiel du modèle HORIZONS soit responsable des faibles élasticités liées aux modes publics terrestres.

Valeurs retenues : Les élasticités-prix du tableau 3.5 correspondent à celles du modèle Ridout-Miller. Les élasticités-prix du marché Montréal-Toronto ne sont pas très différentes de celles du marché représentatif : la demande du mode auto est inélastique (–0,49) et la demande des modes publics est élastique.

Tableau 3.5
ÉLASTICITÉS-PRIX ET INDICES DE SUBSTITUTION RETENUS, MARCHÉ MONTRÉAL-TORONTO (1976)

(a) Élasticités-prix propres et croisées

	Élasticités-prix des modes de transport				Élasticités-prix des parts modales			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
Élasticités propres	–0,49	–2,26	–1,12	–1,03	–0,35	–2,07	–1,06	–1,00
Élasticités croisées	0,39	0,46	0,14	0,03	0,51	0,61	0,18	0,04

Tableau 3.5 (suite)
ÉLASTICITÉS-PRIX ET INDICES DE SUBSTITUTION RETENUS, MARCHÉ MONTRÉAL-TORONTO (1976)

(b) Élasticités-prix de la demande totale et indices de substitution modale

	Élasticités de la demande totale par rapport aux prix				Indices de substitution modale (θ^{δ}_{m})			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
	−0,13	−0,15	−0,05	−0,01	0,56	0,70	0,72	0,75

Substitution entre les modes : L'hypothèse d'absence de substitution modale peut être rejetée. Une variation du prix d'un mode induira surtout des ajustements sur la répartition des voyages. Les proportions des ajustements qui proviennent d'une substitution modale sont : 56 pour cent pour le mode auto, 70 pour cent pour le mode avion, 72 pour cent pour le mode train et 75 pour cent pour le mode autocar.

Tableau 3.6
MARCHÉ MONTRÉAL-TORONTO (1976)

(a) Élasticités-prix propres

Modèle	Élasticités-prix propres des modes de transport				Élasticités-prix propres des parts modales			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
Peat-Marwick	−0,64	−3,00	−1,49	−1,37	−0,48	−2,80	−1,43	−1,36
Ridout-Miller	−0,49	−2,26	−1,12	−1,03	−0,35	−2,07	−1,06	−1,00
Gaudry-Wills	−1,02	−1,31	−1,70	−1,95	−0,86	−1,26	−1,67	−1,94
PERAM	−0,54	−1,35	−1,35	−1,46	−0,37	−1,24	−1,28	−1,44
Wilson et al	−0,62	−2,70	−1,33	−1,21	−0,42	−2,47	−1,26	−1,20
HORIZONS	−0,69	−1,16	−0,56	−0,33	−0,35	−0,99	−0,51	−0,32
Grayson	−0,31	−1,41	−0,70	−0,64	−0,23	−1,32	−0,67	−0,64
Stopher-Prashker	−0,77	−2,06	−1,99	−1,91	−0,53	−1,89	−1,89	−1,88

(b) Élasticités-prix croisées

Modèle	Élasticités croisées des modes de transport par rapport aux prix				Élasticités croisées des parts modales par rapport aux prix			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
Peat-Marwick	0,53	0,63	0,18	0,04	0,69	0,82	0,24	0,05
Ridout-Miller	0,39	0,46	0,14	0,03	0,51	0,61	0,18	0,04
Gaudry-Wills	1,08	0,32	0,24	0,07	1,24	0,37	0,28	0,08
PERAM	0,36	0,25	0,15	0,04	0,53	0,36	0,22	0,06
Wilson et al	0,42	0,49	0,14	0,03	0,61	0,72	0,21	0,05
HORIZONS	0,18	0,15	-0,01	0,00	0,51	0,32	0,05	0,01
Grayson	0,25	0,29	0,09	0,02	0,33	0,38	0,11	0,03
Stopher-Prashker	0,52	0,37	0,22	0,05	0,76	0,55	0,32	0,08

Tableau 3.6 (suite)
MARCHÉ MONTRÉAL-TORONTO (1976)

(c) Élasticités-prix de la demande totale et indices de substitution modale

Modèle	Élasticités de la demande totale par rapport aux prix				Indices de substitution modale (θ^{c}_{m})			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. air	7. train	8. autocar
Peat-Marwick	−0,17	−0,20	−0,06	−0,01	0,56	0,70	0,72	0,75
Ridout-Miller	−0,13	−0,15	−0,05	−0,01	0,56	0,70	0,72	0,75
Gaudry-Wills	−0,17	−0,05	−0,04	−0,01	0,73	0,84	0,85	0,86
PERAM	−0,17	−0,12	−0,07	−0,02	0,47	0,62	0,65	0,67
Wilson et al	−0,20	−0,23	−0,07	−0,02	0,47	0,62	0,65	0,67
HORIZONS	−0,33	−0,17	−0,06	−0,01	0,18	0,34	0,32	0,22
Grayson	−0,08	−0,10	−0,03	−0,01	0,56	0,70	0,72	0,75
Stopher-Prashker	−0,24	−0,18	−0,10	−0,02	0,47	0,62	0,65	0,67

3.4.3 Le marché Toronto-Vancouver

Valeurs retenues : Pour les mêmes raisons que celles invoquées au cours de l'analyse du marché représentatif, seuls les modèles Gaudry-Wills, PERAM et Wilson et al peuvent être appliqués à l'analyse du marché Toronto-Vancouver. Les élasticités de ces modèles pour le marché Toronto-Vancouver sont présentées au tableau 3.8 **a**, **b** et **c**. Le tableau 3.7 résume les différentes estimations des élasticités-prix.

Analyse : À part le mode dominant (le mode avion), les demandes de transport sont élastiques et unitaires. Il est assez intéressant d'observer que le mode air possède une élasticité propre de −0,62, et ressemble fort à l'élasticité propre du mode auto dans les autres marchés.

Substitution entre les modes : La demande totale du marché Toronto-Vancouver est davantage sensible au prix du mode avion qu'aux prix des modes terrestres. Une augmentation du prix de l'auto, par exemple, signifie que 68 pour cent de la diminution des voyages en auto correspond à l'accroissement de l'achalandage des autres modes. Par ailleurs, une augmentation du prix du mode avion suppose que 83 pour cent de la diminution de la demande du mode avion correspond à la diminution de la demande totale. Toutefois, les parts des modes auto, autocar et train sont affectées par un changement de prix du mode avion, comme l'indique l'élasticité croisée de 1,45.

Tableau 3.7

Élasticités-prix et indices de substitution retenus, marché Toronto-Vancouver (1976)

(a) Élasticités-prix propres et croisées

	Élasticités-prix des modes de transport				Élasticités-prix des parts modales			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
Élasticités propres	−0,89	−0,62	−1,42	−1,49	−0,89	−0,15	−1,39	−1,49
Élasticités croisées	0,01	0,98	0,08	0,01	0,01	1,45	0,11	0,01

(b) Élasticités-prix de la demande totale et indices de substitution modale

	Élasticités de la demande totale par rapport aux prix				Indices de substitution modale (θ_m^s)			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
	0,00	−0,46	−0,04	0,00	0,68	0,17	0,66	0,68

Tableau 3.8

Marché Toronto-Vancouver (1976)

(a) Élasticités-prix propres

Modèle	Élasticités-prix propres des modes de transport				Élasticités-prix propres des parts modales			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
Gaudry-Wills	−1,26	−0,32	−1,30	−1,42	−1,26	−0,12	−1,28	−1,42
PERAM	−0,89	−0,62	−1,42	−1,49	−0,89	−0,15	−1,39	−1,49
Wilson et al	−1,02	−0,44	-0,68	−0,62	−1,02	−0,11	−0,66	−0,61

(b) Élasticités-prix croisées

Modèle	Élasticités croisées des modes par rapport aux prix				Élasticités croisés des parts modales par rapport aux prix			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
Gaudry-Wills	0,01	0,92	0,09	0,01	0,01	1,12	0,11	0,01
PERAM	0,01	0,98	0,08	0,01	0,01	1,45	0,11	0,01
Wilson et al	0,01	0,56	0,02	0,00	0,01	1,03	0,05	0,01

(c) Élasticités-prix de la demande totale et indices de substitution modale

Modèle	Élasticités de la demande totale de transport par rapport aux prix				Indices de substitution modale (θ_m^s)			
	1. auto	2. avion	3. train	4. autocar	5. auto	6. avion	7. train	8. autocar
Gaudry-Wills	0,00	−0,20	−0,02	0,00	0,82	0,31	0,81	0,82
PERAM	0,00	−0,46	−0,04	0,00	0,68	0,17	0,66	0,68
Wilson et al	0,00	−0,33	−0,02	0,00	0,68	0,17	0,66	0,68

4. EFFETS DE L'AGRÉGATION SUR LE CALCUL DES ÉLASTICITÉS ET SUR L'ESTIMATION

La présente partie porte principalement sur la qualité de la méthode approximative décrite à la partie 2. Nous aborderons ce sujet en traitant séparément deux questions distinctes : l'utilisation d'un individu représentatif et l'effet de l'utilisation des parts observées.

On a vu à la partie 2 que l'élasticité-prix propre agrégée de la part du mode m liée à un modèle probabiliste est représentée par les équations (4.1), (4.2) et (4.3).

$$\eta^m_{C_m}(\text{marché}) = \sum_k \eta^m_{C_m}(k) \cdot f_k \tag{4.1}$$

$$\eta^m_{C_m}(k) = \beta \cdot C_m(k) \cdot [1 - \text{prob}_m(k)] \tag{4.2}$$

$$\text{prob}_m(k) = \frac{\exp [\beta \cdot C_m(k) + A_m(k)]}{\sum_l \exp [\beta \cdot C_l(k) + A_l(k)]} \tag{4.3}$$

où

$\text{prob}_m(k)$ = la probabilité que l'individu k choisisse le mode m;

$\eta^m_{C_m}(k)$ = l'élasticité de la probabilité que l'individu k choississe le mode m par rapport aux prix du mode m;

$\eta^m_{C_m}(\text{marché})$ = l'élasticité-prix propre agrégée avec la méthode d'énumération;

f_k = facteur de représentativité de l'individu k dans la population;

$C_{ijm}(k)$ = le prix du mode m pour l'individu k;

$A_{ijm}(k)$ = le niveau de service du mode m auquel fait face l'individu k, niveau de service lié à des facteurs autres que le prix.

L'élasticité agrégée résulte d'une somme pondérée des élasticités des individus. Puisque nous ne disposons pas des échantillons, il nous est impossible d'utiliser cette méthode. Dans notre étude, l'élasticité-prix propre agrégée provenant d'un modèle probabiliste fut calculée avec l'équation (4.4) :

$$\eta^{m}_{C_m}(\text{approx.}) = \beta \cdot \overline{C_m} \cdot (1 - S_m) \tag{4.4}$$

En comparant les équations (4.1)-(4.3) à l'équation (4.4), les deux méthodes se distinguent de deux façons :

- la valeur agrégée de l'élasticité-prix avec l'équation (4.4) requiert une seule valeur du prix ($\overline{C_m}$), tandis que l'élasticité-prix agrégée obtenue avec l'équation (4.1) nécessite tous les prix contenus dans l'échantillon;
- l'élasticité-prix $\eta^{m}_{C_m}$(marché) provient de la probabilité calculée de chaque individu alors que l'élasticité-prix $\eta^{m}_{C_m}$(approx.) est obtenue avec la part de marché (S_m).

La similarité des élasticités obtenues suivant la méthode d'énumération (4.1)-(4.3) avec celles calculées suivant la formule (4.4) sera illustrée par deux exemples empiriques.

Santiago : Le premier exemple provient d'un modèle Logit appliqué à des données urbaines de Santiago[6] (Chili). La première colonne du tableau 4.1 présente les élasticités-prix propres liées à ce modèle avec la méthode d'agrégation des élasticités individuelles ($\eta^{m}_{C_m}$(marché)). La deuxième colonne contient les élasticités-prix propres ($\eta^{m}_{C_m}$(approx.)) pour un individu représentatif selon la formule (4.4). Dans la troisième colonne, on trouve l'élasticité-prix calculée avec un individu représentatif mais la part calculée pour un individu représentatif remplace la part observée dans l'équation (4.4), soit

$$\eta^{m}_{C_m}(\text{représ.}) = \beta \cdot \overline{C_m} \cdot \left[1 - \frac{\exp(\beta \cdot \overline{C_m} + \overline{A_m})}{\sum_i \exp(\beta \cdot C_i + A_i)} \right] \tag{4.5}$$

À l'étude du tableau 4.1, on doit constater que les trois méthodes donnent des estimations très similaires. De plus, en comparant les colonnes 2 et 3, il apparaît que l'emploi des parts de marché donne des estimations plus précises que l'emploi de la part calculée de l'individu représentatif suivant l'équation (4.5). Sans que ce soit une justification scientifique, cet exemple confirme que l'approximation des élasticités agrégées ($\eta^{m}_{C_m}$(approx.)) donne des estimations tout à fait raisonnables.

Tableau 4.1
ÉLASTICITÉS PROPRES AVEC TROIS MÉTHODES DIFFÉRENTES, SANTIAGO (CHILI)

	1. Somme pondérée des élasticités individuelles ($\eta^m_{C_m}$(marché))	2. Élasticités d'un individu représentatif, part de marché ($\eta^m_{C_m}$(approx.))	3. Élasticités d'un individu représentatif, probabilité calculée ($\eta^m_{C_m}$(représ.))
Mode 1	−0,251	−0,340	−0,370
Mode 2	−0,064	−0,087	−0,075
Mode 3	−0,213	−0,233	−0,240
Mode 4	−0,015	−0,047	−0,015
Mode 5	−0,049	−0,069	−0,095
Mode 6	−0,154	−0,184	−0,193
Mode 7	−0,070	−0,075	−0,077
Mode 8	−0,169	−0,182	−0,189
Mode 9	−0,141	−0,153	−0,160

Montréal-Toronto : Le deuxième exemple provient du modèle Peat-Marwick (1990). La ligne 1 du tableau 4.2 contient les élasticités-prix propres de la probabilité de choix modal d'un individu à faible revenu, pour un voyage dans le marché Montréal-Toronto pour motif «affaires». La ligne 2 a trait à la même situation que la ligne 1 sauf que le revenu de l'individu est élevé. Les lignes 4 et 5 donnent la même information pour le motif autre qu'affaires. Ces élasticités proviennent d'un individu possédant les caractéristiques reproduites dans le tableau II-11 dans Peat-Marwick[7] (1990). L'équation (4-2) sert aux calculs de ces élasticités-prix propres.

La ligne 3 du tableau 4.2 contient les élasticités-prix calculées avec l'approximation de l'élasticité agrégée ($\eta^m_{C_m}$(approx.)). Les élasticités de la ligne 3 se diffférencient de celles de deux premières lignes car les parts de marché remplacent les probabilités calculées.

Si l'on compare la ligne 3 avec les deux premières du tableau 4.2, on constate une fois de plus que l'approche approximative produit des élasticités tout à fait raisonnables qui se situent entre les élasticités calculées pour les individus à revenus élevés et bas.

Tout comme la ligne 3, la ligne 6 contient les élasticités-prix calculées avec l'approximation de l'élasticité agrégée ($\eta^m_{C_m}$(approx.)) sauf que les prix ne sont pas ceux du motif affaires mais une moyenne des prix des modes pour motif «affaires et autres». Nous ne connaissons pas les élasticités-prix agrégées du modèle Peat-Marwick pour le marché Montréal-Toronto, mais

elles doivent correspondre à une moyenne des valeurs contenues dans les lignes 1, 2, 4 et 5. On constate que c'est précisément ce que l'on retrouve dans la ligne 6 : une approximation des élasticités-prix agrégées du marché Montréal-Toronto.

Tableau 4.2
ÉLASTICITÉS-PRIX DU MARCHÉ MONTRÉAL-TORONTO (1987) AVEC LE MODÈLE PEAT-MARWICK (1990)

	Élasticités propres				Élasticités croisées			
	auto	**avion**	**train**	**autocar**	**auto**	**avion**	**train**	**autocar**
Motif affaires :								
1. faible revenu, prob. calculée	−2,69	−2,28	−1,79	−1,04	0,53	3,84	0,41	0,02
2. haut revenu, prob. calculée	−3,09	−0,49	−2,12	−1,06	0,13	5,63	0,08	0,00
3. part de marché	−2,90	−0,98	−2,05	−1,06	0,29	5,11	0,15	0,00
Motif autres, non-groupe :								
4. faible revenu, prob. calculée	−0,69	−4,14	−1,43	−1,04	0,64	0,47	0,32	0,31
5. haut revenu, prob. calculée	−0,74	−3,24	−1,50	−1,20	0,59	1,37	0,26	0,15
Tous motifs :								
6. part de marché, paramètres du motif affaires	−1,42	−2,69	−1,46	−0,99	0,70	2,11	0,32	0,05

Nota : La formule 4.2 est utilisée aux lignes 1, 2, 4 et 5 alors que l'approximation de la formule 4.4 est utilisée aux lignes 3 et 6.

5. FORMULATION DES ÉLASTICITÉS-PRIX ET DE L'INDICE DE SUBSTITUTION MODALE

Dans la présente partie, nous présentons les formules qui ont servi aux calculs de l'indice de substitution modale et des élasticités-prix.

5.1 DESCRIPTION DES MODÈLES DE DEMANDE

Dans la présente partie, nous présentons l'information détaillée qui a servi aux calculs des tableaux 3.3 à 3.8. Puisque notre intérêt réside dans la sensibilité de la demande au prix des modes de transport, nous nous limitons

donc à expliciter la spécification de la variable prix dans le modèle probabiliste ou de répartition modale et regroupons dans le variable A_{ijm} toutes les autres variables apparaissant dans le modèle de répartition modale ou probabiliste.

La comparaison des élasticités-prix présentées dans la partie 3 nécessite pour certains modèles un ajustement des paramètres calibrés. Cet ajustement consiste à changer les unités monétaires des coefficients en vue d'obtenir l'unité «cent canadien de 1976». Les modèles probabilistes et de répartition modale définissent le niveau d'utilité du mode m (V_m) comme,

$$V_m = \beta C_m + A_m \tag{5.1}$$

Le coefficient β s'interprète comme des utilités par unité monétaire de la variable C_m; si la période de calibration est 1972, la transformation suivante est alors nécessaire :

$$\beta_{1976} = \beta_{1972} \cdot IPC_{1972}/IPC_{1976} \tag{5.2}$$

où IPC_{1972} et IPC_{1976} signifient l'indice des prix à la consommation de 1972 et de 1976, respectivement. Le tableau 5.1 offre les valeurs des indices de prix et des taux de change utilisés dans les calculs.

Tableau 5.1
INDICES DES PRIX ET DES TAUX DE CHANGE

	1969	1972	1976	1977	1984
Indice des prix à la consommation	39,2	42,6	60,6	65,1	120,7
Taux de change ($ CAN/$ US)	1,077	0,991	0,986	1,063	1,295

La notation utilisée est la suivante :

S_{ijm} = la part modale du mode m dans le marché ij;

T_{ij} = le nombre total de voyages dans le marché ij;

C_{ijm} = le prix du mode m dans le marché ij;

IPC_{an} = l'indice des prix à la consommation de l'année an;

TDC_{an} = taux de change américain de l'année *an*;

η_{C_m} (totale) = l'élasticité de la demande totale par rapport au prix du mode *m*;

$\eta^m_{C_m}$ (part) = l'élasticité de la part du mode *m* (S_{ijm}) par rapport au prix du mode *m* (C_{ijm}).

5.1.1 Le modèle Gaudry-Wills (1978)

La banque de données pour la calibration du modèle Gaudry-Wills est celle de Transports Canada, 1972. Le modèle de répartition modale est donné par l'équation (5.4) et le modèle de génération-distribution est formulé par l'équation (5.3).

$$T_{ij} = \left[24{,}46 + 0{,}8P_{ij}^{(\lambda_1)} + 0{,}0014L_{ij}^{(\lambda_2)} + 2{,}5\left\{\sum_l \exp\left[-1{,}82(C_{ijl} + 35{,}7)^{(\lambda_3)} + A_{ijl}\right]\right\}^{(\lambda_4)}\right]^{-1} \quad (5.3)$$

$$S_{ijm} = \frac{\exp\left[-1{,}82(C_{ijm} + 35{,}7)^{(\lambda_3)} + A_{ijm}\right]}{\sum_l \exp\left[-1{,}82(C_{ijl} + 3{,}57)^{(\lambda_3)} + A_{ijl}\right]} \quad (5.4)$$

où

P_{ij} = le produit de la population de la ville *i* et de la population de la ville *j*;

L_{ij} = similarité de la composition linguistique de la ville *i* et de la ville *j*;

A_{ijm} = temps de parcours, nombre de départs.

Dès lors, les élasticités-prix liées au modèle Gaudry-Wills sont calculées avec les équations (5.5), (5.6) et (5.7).

$$\eta_{C_m}(\text{totale}) = -1{,}82 \cdot 2{,}5 \cdot (C_{mk} + 35{,}7)^{(-0.24-1)} \cdot S_{ijm} \cdot U^{0{,}04} \cdot T_{ij}^{-0{,}17} \quad (5.5)$$

$$\eta^m_{C_m}(\text{part}) = -1{,}82 \cdot (C_{ijm} + 35{,}7)^{(-0{,}24-1)} \cdot C_{ijm} \cdot (1 - S_{ijm}) \quad (5.6)$$

$$\eta^m_{C_l}(\text{part}) = 1{,}82 \cdot (C_{ijl} + 35{,}7)^{(-0{,}24-1)} \cdot C_{ijl} \cdot S_{ijl} \quad (5.7)$$

$\lambda_1 = 0{,}2, \quad \lambda_2 = 1{,}94, \lambda_3 = -0{,}24, \lambda_4 = -0{,}17$

5.1.2 Le modèle Grayson (1981)

La banque de données pour la calibration du modèle Grayson est celle de l'*Enquête nationale de transport* de 1977. L'échantillon comporte 1 658 voyages dans 46 paires de villes. Les paires de villes incluent généralement New-York, San Francisco et Los Angeles. Le modèle probabiliste est décrit par l'équation (5.8).

$$S_{ijm} = \frac{\exp(-0{,}016C_{ijm} + A_{ijm})}{\sum_l \exp(-0{,}016C_{ijl} + A_{ijl})} \tag{5.8}$$

où

A_{ijm} = temps dans le véhicule, temps d'accès, temps d'attente.

Dès lors, les élasticités-prix liées au modèle Grayson sont calculées avec les équations (5.9), (5.10) et (5.11).

$$\eta_{C_m}(\text{totale}) = 0{,}247[-0{,}016\ \text{IPC}_{77}/(100\ \text{IPC}_{76}\text{TDC}_{77})] \cdot S_{ijm} \cdot C_{ijm} \tag{5.9}$$

$$\eta^m_{C_m}(\text{part}) = [-0{,}016\ \text{IPC}_{77}/(100\ \text{IPC}_{76}\text{TDC}_{77})] \cdot C_{ijm} \cdot (1 - S_{ijm}) \tag{5.10}$$

$$\eta^m_{C_l}(\text{part}) = [0{,}0161 \cdot \text{IPC}_{77}/(100\ \text{IPC}_{76}\text{TDC}_{77})] \cdot C_{ijl} \cdot S_{ijl} \tag{5.11}$$

5.1.3 Le modèle HORIZONS

La banque de données pour la calibration du modèle HORIZONS est celle de l'enquête sur les voyages dans le corridor Québec-Windsor de 1987. Le modèle de génération-distribution est représenté par l'équation (5.12).

$$T_{ij} = e^{-15{,}7-0{,}23I_o+2I_q} \cdot U^{0{,}65} \cdot (Y_iE_j)^{1{,}04} \tag{5.12}$$

où

I_o = un voyage dont l'origine et la destination se trouvent en Ontario

I_q = un voyage dont l'origine et la destination se trouvent au Québec

E_j = emploi de la ville j

Les équations (5.13)-(5.16) donnent les modèles probabilistes de choix conditionnel. Ainsi, S_a signifie la probabilité de choisir l'auto; l'alternative est de choisir un mode public $(1 - S_a)$. S_p représente la probabilité de choisir le mode public avion, conditionnelle au fait qu'un mode public est choisi, l'alternative est un mode public terrestre $(1 - S_p)$. S_t et S_b signifient les probabilités de choisir le mode train et autocar, respectivement, conditionnelles au fait qu'un mode public terrestre est choisi.

$$S_a = \frac{\exp(\beta_{10} + \beta_{11}GC_a)}{\exp(\beta_{01} + \beta_{11}GC_a) + \exp(\beta_{12}GC'_a)} \tag{5.13}$$

$$S_p = \frac{\exp(\beta_{20} + \beta_{21}GC_p)}{\exp(\beta_{20} + \beta_{21}GC_p) + \exp(\beta_{22}GC'_p)} \tag{5.14}$$

$$S_t = \frac{\exp(\beta_{30} + \beta_{31}GC_t)}{\exp(\beta_{30} + \beta_{31}GC_t) + \exp(\beta_{32}GC_b)} \tag{5.15}$$

$$S_b = \frac{\exp(\beta_{32}GC_b)}{\exp(\beta_{30} + \beta_{31}GC_t) + \exp(\beta_{32}GC_b)} \tag{5.16}$$

$$S_{auto} = S_a, \qquad S_{air} = (1 - S_a) \cdot S_p \tag{5.17}$$

$$S_{train} = (1 - S_a) \cdot (1 - S_p) \cdot S_t \tag{5.18}$$

$$S_{autocar} = (1 - S_a) \cdot (1 - S_p) \cdot S_b \tag{5.19}$$

$$GC_b = A_b + C_b/VOT_b, \qquad GC_t = A_t + C_t/VOT_t \tag{5.20}$$

$$GC_p = A_p + C_p/VOT_p, \qquad GC_a = A_a + C_a/VOT_a \tag{5.21}$$

$$GC'_p = \ln[\exp(\beta_{30} + \beta_{31}GC_t) + \exp(\beta_{32}GC_b)] \tag{5.22}$$

$$GC'_a = \ln[\exp(\beta_{20} + \beta_{21}GC_p) + \exp(\beta_{22}GC'_p)] \tag{5.23}$$

$$VOT_a = 28, \quad VOT_p = 65{,}7, \quad VOT_t = 27{,}8, \quad VOT_b = 18{,}2 \tag{5.24}$$

Les élasticités-prix liées au modèle de génération-distribution (5.11) sont données par les équations (5.25)-(5.28).

$$\eta(\text{totale, auto}) = \beta_{11} \cdot S_a \cdot C_a/VOT_a \quad (5.25)$$

$$\eta(\text{totale, avion}) = \beta_{12} \cdot \beta_{21} \cdot S_p \cdot C_p/\text{VOT}_p \quad (5.26)$$

$$\eta(\text{totale, train}) = \beta_{12} \cdot \beta_{22} \cdot \beta_{31} \cdot S_t \cdot C_t/\text{VOT}_t \quad (5.27)$$

$$\eta(\text{totale, autocar}) = \beta_{12} \cdot \beta_{22} \cdot \beta_{32} \cdot S_b \cdot C_b/\text{VOT}_b \quad (5.28)$$

Les élasticités propres et croisées des parts modales contenues dans l'annexe 1 sont calculées avec les formules du tableau 5.2. On peut remarquer que le modèle Logit imbriqué suppose une structure particulière des élasticités croisées : les elasticités des modes publics par rapport au prix auto sont égales; les élasticités des modes publics terrestres par rapport au prix du mode avion sont égales.

Tableau 5.2
ÉLASTICITÉS-PRIX DES PARTS DU MODÈLE HORIZONS

	Auto
Auto	$\beta_{11} \cdot (1 - S_a) \cdot C_a/\text{VOT}_a$
Avion	$-\beta_{11} \cdot S_a \cdot C_a/\text{VOT}_a$
Train	$-\beta_{11} \cdot S_a \cdot C_a/VOT_a$
Autocar	$-\beta_{11} \cdot S_a \cdot C_a/VOT_a$
	Avion
Auto	$-\beta_{12} \cdot (1 - S_a) \cdot \beta_{21} \cdot S_p \cdot C_p/\text{VOT}_p$
Avion	$[-\beta_{12} \cdot S_a \cdot \beta_{21} \cdot S_p + \beta_{21} \cdot (1 - S_p)] \cdot C_p/\text{VOT}_p$
Train	$(-\beta_{12} \cdot S_a \cdot \beta_{21} \cdot S_p - \beta_{21} \cdot S_p) \cdot C_p/\text{VOT}_p$
Autocar	$(-\beta_{12} \cdot S_a \cdot \beta_{21} \cdot S_p - \beta_{21} \cdot S_p) \cdot C_p/\text{VOT}_p$
	Train
Auto	$-\beta_{12} \cdot (1 - S_a) \cdot \beta_{22} \cdot (1 - S_p) \cdot \beta_{31} \cdot S_t \cdot C_t/\text{VOT}_t$
Avion	$[-\beta_{12} \cdot S_a \cdot \beta_{22} \cdot (1 - S_p) \cdot \beta_{31} \cdot S_t - \beta_{22} \cdot (1 - S_p) \cdot \beta_{31} \cdot S_t] \cdot C_t/\text{VOT}_t$
Train	$[\beta_{12} \cdot S_a \cdot \beta_{22} \cdot (1 - S_p)\beta_{31} \cdot S_t - \beta_{22} \cdot S_p \cdot S_t \cdot \beta_{31} + \beta_{31} \cdot (1 - S_t)] \cdot C_t/\text{VOT}_t$
Autocar	$[\beta_{12} \cdot S_a \cdot \beta_{22} \cdot (1 - S_p)\beta_{31} \cdot S_t - \beta_{22} \cdot S_p \cdot S_t \cdot \beta_{31} - \beta_{31} \cdot S_t] \cdot C_t/\text{VOT}_t$
	Autocar
Auto	$-\beta_{12} \cdot (1 - S_a) \cdot \beta_{22} \cdot (1 - S_p) \cdot \beta_{32} \cdot S_b \cdot C_b/\text{VOT}_b$
Avion	$[-\beta_{12} \cdot S_a \cdot \beta_{22} \cdot (1 - S_p) \cdot \beta_{32} \cdot S_b - \beta_{22} \cdot (1 - S_p) \cdot \beta_{32} \cdot S_b] \cdot C_b/\text{VOT}_b$
Train	$[\beta_{12} \cdot S_a \cdot \beta_{22} \cdot (1 - S_p)\beta_{32} \cdot S_b + \beta_{22} \cdot S_p \cdot S_b \cdot \beta_{32} - \beta_{32} \cdot S_b] \cdot C_b/\text{VOT}_b$
Autocar	$[\beta_{12} \cdot S_a \cdot \beta_{22} \cdot (1 - S_p)\beta_{32} \cdot S_b + \beta_{22} \cdot S_p \cdot S_b \cdot \beta_{32} + \beta_{32} \cdot (1 - S_b)] \cdot C_b/\text{VOT}_b$

5.1.4 Le modèle PERAM (1976)

L'échantillon pour la calibration du modèle PERAM comporte 16 paires de villes de la banque de données de Transports Canada, 1976. Le modèle de génération-distribution est décrit par (5.29). L'équation (5.30) présente le modèle de répartition modale.

$$T_{ij} = e^{4,12} P_{ij}^{0,76} Y_{ij}^{0,56} \cdot \left(\sum_l C_{ijl}^{\beta 1 l} A_{ijl}\right)^{0,32} \tag{5.29}$$

$$S_{ijm} = \frac{C_{ijm}^{\beta 1 m} A_{ijm}}{\sum_l C_{ijl}^{\beta 1 m} A_{ijl}} \tag{5.30}$$

où

A_{ijm} = temps dans le véhicule, fréquence.

Les élasticités-prix liées au modèle de génération-distribution (5.29) sont données par l'équation (5.31); celles du modèle de répartition modale correspondent aux équations (5.32) et (5.33).

$$\eta_{C_m}(\text{totale}) = \beta_{1m} \cdot 0,32 \cdot S_{ijm} \tag{5.31}$$

$$\eta_{C_m}^{m}(\text{part}) = \beta_{1m} \cdot (1 - S_{ijm}) \tag{5.32}$$

$$\eta_{C_l}^{m}(\text{part}) = -\beta_{1l} \cdot S_{ijl} \tag{5.33}$$

$\beta_{auto} = -0,9, \quad \beta_{avion} = -1,6, \quad \beta_{train} = -1,5, \quad \beta_{autocar} = -1,5$

5.1.5 Le modèle Peat-Marwick (1990)

La banque de données utilisée pour la calibration du modèle Peat-Marwick est celle de l'enquête sur les voyages dans le corridor Québec-Windsor de 1987. Le modèle de génération-distribution est représenté par l'équation (5.34), alors que l'équation (5.35) décrit le modèle probabiliste pour le motif affaires.

$$T_{ij} = e^{-8} P_i E_j^{0,39} \left[\sum_l \exp\left(-0,0317 C_{ijl} + A_{ijl}\right)\right]^{0,247} \tag{5.34}$$

$$S_{ijm} = \frac{\exp\left(-0,0317 C_{ijm} + A_{ijm}\right)}{\sum_l \exp\left(-0,0317 C_{ijl} + A_{ijl}\right)} \tag{5.35}$$

où

A_{ijm} = temps dans le véhicule, temps d'accès, temps d'attente, fréquence

Les élasticités-prix liées au modèle de génération-distribution sont données par l'équation (5.36); celles du modèle probabiliste correspondent aux équations (5.37) et (5.38).

$$\eta_{C_m}(\text{totale}) = 0{,}247 \cdot -0{,}0317 \cdot [IPC_{87}/(IPC_{76} \cdot 100)] \cdot S_{ijm} \cdot C_{ijm} \qquad (5.36)$$

$$\eta^{m}_{C_m}(\text{part}) = -0{,}0317 \cdot [IPC_{87}/(IPC_{76} \cdot 100)] \cdot (1 - S_{ijm}) \cdot C_{ijm} \qquad (5.37)$$

$$\eta^{m}_{C_l}(\text{part}) = 0{,}0317 \cdot [IPC_{87}/(IPC_{76} \cdot 100)] \cdot S_{ijm} \cdot C_{ijm} \qquad (5.38)$$

5.1.6 Le modèle Ridout-Miller (1990)

La banque de données pour la calibration du modèle probabiliste Ridout-Miller est celle de l'enquête sur les voyages dans le corridor Québec-Windsor de 1969. Le mode auto est omis. Les paramètres utilisés sont ceux du motif affaires.

$$S_{ijm} = \frac{\exp(-0{,}035 C_{ijm}/Y_i + A_{ijm})}{\sum_l \exp(-0{,}035 C_{ijl}/Y_i + A_{ijl})} \qquad (5.39)$$

où

A_{ijm} = distance d'accès, temps de parcours, secteurs économiques.

Les élasticités-prix liées au modèle probabiliste correspondent aux équations (5.40) et (5.42).

$$\eta_{C_m}(\text{totale}) = [0{,}32 \cdot -0{,}035\ IPC_{69}/(100\ IPC_{76})](C_{ijm}/Y_i)S_{ijm} \qquad (5.40)$$

$$\eta^{m}_{C_m}(\text{part}) = [-0{,}035\ IPC_{69}/(100\ IPC_{76})](C_{ijm}/Y_i)(1 - S_{ijm}) \qquad (5.41)$$

$$\eta^{m}_{C_l}(\text{part}) = [-0{,}035\ IPC_{69}/(100\ IPC_{76})](C_{ijl}/Y_i)(-S_{ijm}) \qquad (5.42)$$

5.1.7 Le modèle SLAG (1975)

La banque de données pour la calibration du modèle est celle de la Commission canadienne des transports de 1972. Une description plus détaillée du modèle SLAG se trouve dans Rea et al (1977). Le modèle de répartition modale est décrit dans (5.44) et le modèle de génération-distribution, donné par (5.43).

$$T_{ij} = e^{4,12} P_{ij}^{0,492} L_{ij}^{0,52} \cdot \left(\sum_l C_{ijl}^{-2,72} A_{ijl}\right)^{0,339} \tag{5.43}$$

$$S_{ijm} = \frac{C_{ijm}^{-2,72} A_{ijm}}{\sum_l C_{ijl}^{-2,72} A_{ijl}} \tag{5.44}$$

où

P_{ij} = le produit de la population de la ville i et de la population de la ville j

L_{ij} = similarité de la composition linguistique de la ville i et de la ville j

A_{ijm} = temps de parcours, nombre de départs

Les élasticités-prix liées au modèle de génération-distribution sont données par l'équation (5.45); celles du modèle probabiliste correspondent aux équations (5.46) et (5.47).

$$\eta_{C_m}(\text{totale}) = 0,339 \cdot -2,72 \cdot S_{ijm} \tag{5.45}$$

$$\eta_{C_m}^{m}(\text{part}) = -2,72 \cdot (1 - S_{ijm}) \tag{5.46}$$

$$\eta_{C_l}^{m}(\text{part}) = 2,72 \cdot S_{ijl} \tag{5.47}$$

5.1.8 Le modèle Stopher-Prashker (1976)

La banque de données pour la calibration du modèle probabiliste Stopher-Prashker est celle de l'*Enquête nationale de transport* de 1972. L'échantillon comporte 2 085 voyages dans 22 paires de villes. La valeurs de $\overline{C}_m$ correspondent à celles du marché représentatif.

$$S_{ijm} = \frac{\exp\left(-3,957 \cdot (C_{ijm}/\overline{C}) + A_{ijm}\right)}{\sum_l \exp\left(-3,957 \cdot C_{ijl}/\overline{C} + A_{ijl}\right)} \tag{5.48}$$

où

A_{ijm} = temps dans le véhicule, temps d'accès, nombre de départs.

Les élasticités-prix liées au modèle probabiliste correspondent aux équations (5.49)-(5.51).

$$\eta_{C_m}(\text{totale}) = 0{,}247 \cdot (-3.957) \cdot S_{ijm} \cdot C_{ijm}/\overline{C} \tag{5.49}$$

$$\eta^{m}_{C_m}(\text{part}) = -3{,}957 \cdot (1 - S_{ijm}) \cdot C_{ijm}/\overline{C} \tag{5.50}$$

$$\eta^{m}_{C_l}(\text{part}) = 3{,}957 \cdot S_{ijl} \cdot C_{ijl}/\overline{C} \tag{5.51}$$

5.1.9 Le modèle Wilson et al (1990)

La banque de données pour la calibration du modèle Wilson et al. est celle de l'*Enquête sur les voyages des Canadiens* de 1976. Le modèle probabiliste est exprimé dans l'équation (5.52).

$$S_{ijm} = \frac{\exp\,(-15{,}08 C_{ijm}/\text{DIST}_{ij} + A_{ijm})}{\sum_l \exp\,(-15{,}08 C_{ijm}/\text{DIST}_{ij} + A_{ijm})} \tag{5.52}$$

où

A_{ijm} = temps de parcours, nombre de départs, revenu.

Les élasticités-prix liées au modèle probabiliste correspondent aux équations (5.53)-(5.55).

$$\eta_{C_m}(\text{totale}) = 0{,}32 \cdot [-15.08\ \text{IPC}_{84}/(100\ \text{IPC}_{76})](C_{ijm}/\text{DIST}_{ijm})(1 - S_{ijm}) \tag{5.53}$$

$$\eta^{m}_{C_m}(\text{part}) = [-15{,}08\ \text{IPC}_{84}/(100\ \text{IPC}_{76})](C_{ijm}/\text{DIST}_{ijm})(1 - S_{ijm}) \tag{5.54}$$

$$\eta^{m}_{C_l}(\text{part}) = (15{,}08\ \text{IPC}_{84}/(100\ \text{IPC}_{76})](C_{ijl}/\text{DIST}_{ijl})S_{ijl} \tag{5.55}$$

5.2 DÉRIVATION DE L'INDICE DE SUBSTITUTION MODALE

Formellement, la dérivation de l'indice de substitution d'un mode, par exemple le train, procède comme suit,

$$\Delta T_{train}/\Delta C_{train} = \Delta T_{totale}/\Delta C_{train} - \Delta T_{auto}/\Delta C_{train} - \Delta T_{\text{avion}}/\Delta C_{train} - \Delta T_{autocar}/\Delta C_{train} \tag{5.56}$$

où T_{train} signifie le nombre de voyages avec le mode train. Après quelques transformations, il est possible d'identifier la proportion de cette variation qui affecte les voyages par les autres modes (θ^{S}_{train}) et, celle qui affecte la proportion de la demande totale de voyages (θ^{T}_{train}),

$$\Delta T_{train}/\Delta C_{train} = \Delta T_{totale}/\Delta C_{train} - \Delta T_{auto}/\Delta C_{train} - \Delta T_{avion}/\Delta C_{train} - \Delta T_{autocar}/\Delta C_{train}$$

$$1 = \frac{\Delta T_{totale}/\Delta C_{train}}{\Delta T_{train}/\Delta C_{train}} - \frac{\Delta T_{auto}/\Delta C_{train}}{\Delta T_{train}/\Delta C_{train}} - \frac{\Delta T_{avion}/\Delta C_{train}}{\Delta T_{train}/\Delta C_{train}} - \frac{\Delta T_{autocar}/\Delta C_{train}}{\Delta T_{train}/\Delta C_{train}}$$

$$1 = \frac{\Delta T_{total}/\Delta C_{train}}{\Delta T_{train}/\Delta C_{train}} + \frac{\Delta T_{auto}/\Delta C_{train}}{|\Delta T_{train}/\Delta C_{train}|} + \frac{\Delta T_{avion}/\Delta C_{train}}{|\Delta T_{train}/\Delta C_{train}|} + \frac{\Delta T_{autocar}/\Delta C_{train}}{|\Delta T_{train}/\Delta C_{train}|}$$

$$1 = \frac{\eta^{T}_{C_{train}}}{\eta^{train}_{C_{train}} S_{train}} + \frac{\eta^{auto}_{C_{train}} S_{auto}}{|\eta^{train}_{C_{train}}| S_{train}} + \frac{\eta^{avion}_{C_{train}} S_{avion}}{|\eta^{train}_{C_{train}}| S_{train}} + \frac{\eta^{autocar}_{C_{train}} S_{autocar}}{|\eta^{train}_{C_{train}}| S_{train}}$$

$$1 = \theta^{T}_{train} + \theta^{S}_{train} \tag{5.57}$$

où

$$\theta^{S}_{train} = \frac{\eta^{T}_{C_{train}}}{\eta^{train}_{C_{train}} S_{train}}$$

et

$$\theta^{T}_{train} = 1 - \frac{\eta^{T}_{C_{train}}}{\eta^{train}_{C_{train}} S_{train}}$$

Mis à part le modèle HORIZONS, les formes générales des élasticités-prix avec les modèles de demande présentées dans la partie précédente sont :

$$\eta_{C_m}(\text{totale}) = \alpha\beta_{1m} S_m C_m \tag{5.58}$$

$$\eta^{m}_{C_m}(\text{part}) = \beta_{1m}(1 - S_m) C_m \tag{5.59}$$

$$\eta^{m}_{C_m}(\text{mode}) = \eta_{C_m}(\text{totale}) + \eta^{m}_{C_m}(\text{part}) \tag{5.60}$$

En substituant les équations (5.58)-(5.60) dans la définition de θ^{S}_{m}, on obtient :

$$\theta^{S}_{m} = \frac{1 - S_m}{1 + (\alpha - 1) S_m}$$

6. QUELQUES MODÈLES EXCLUS DE L'ANALYSE

Les neuf modèles retenus pour l'analyse des élasticités-prix dans la présente étude ne sont pas exhaustifs. En effet, le nombre de modèles de la demande de transport interurbain des voyageurs est assez considérable[8] et il a fallu faire preuve d'un certain discernement pour établir la liste des neuf modèles.

Un des critères de sélection porte sur l'applicabilité du modèle aux marchés canadiens. Certains modèles de demande élaborés à partir de données canadiennes ont été exclus de l'analyse. C'est le cas des modèles Gillen et Oum (1983), Andrikopoulos et Brox (1990) et Abdelawahab (1990).

6.1 DESCRIPTION DES MODÈLES EXCLUS

6.1.1 Le modèle Gillen-Oum (1983)

Gillen et Oum (1983) ont élaboré un système de demande pour expliquer les proportions du revenu dépensées sur les trois modes publics de transport interurbain et sur les biens et services autres que les modes de transport. Ce modèle fut calibré avec des données canadiennes en séries chronologiques, et ne permet donc pas une analyse pour des marchés spécifiques comme ceux que nous avons retenus dans la présente étude. Cependant, les élasticités-prix dérivées du modèle Gillen-Oum pour l'année 1976 se comparent à celles du marché représentatif, comme on le constatera au tableau 6.1.

Tableau 6.1
ÉLASTICITÉS-PRIX DU MARCHÉ REPRÉSENTATIF ET DU MODÈLE GILLEN-OUM

	1. avion	2. train	3. autocar
Élasticités-prix propres des parts modales avec le marché représentatif (voir tableau 3.2)	–1,44	–1,43	–1,44
Élasticités-prix propres des parts de dépenses sur les modes en 1976, modèle Gillen-Oum	–1,15	–1,55	–1,45

6.1.2 Le modèle Andrikopoulos-Brox (1990)

Le modèle Andrikopoulos-Brox (1990) est un système de demande avec les proportions du revenu dépensées sur les quatre modes de transport interurbains. La banque de données de Transports Canada 1976, constituée

des voyages interurbains de 86 paires de villes avec les quatre modes, a servi à la calibration du modèle Andrikopoulos-Brox. Les raisons de l'exclusion du modèle Andrikopoulos-Brox ne sont pas d'ordre méthodologique mais plutôt d'ordre empirique. Les élasticités croisées de ce modèle supposent que les autre modes de transport interurbains sont complémentaires. On peut facilement concevoir que, dans certains cas, certains modes de transport soient complémentaires. Mais le résultat de cette complémentarité à un niveau agrégé pour tous les marchés nous semble aller à l'encontre de l'intuition et de l'ensemble des études reconnues : il est alors difficilement défendable.

En plus de ces considérations empiriques, les modèles Gillen-Oum et Andrikopoulos-Brox partagent, à notre avis, une difficulté d'ordre méthodologique. En effet, tous deux produisent des estimations de l'élasticité-prix de la dépense modale qui proviennent d'une calibration basée sur des parts de dépenses. Avec la technique de dérivées en chaîne, comme dans l'équation (6.1), on peut obtenir l'élasticité-prix d'un mode de transport ($\eta^m_{C_m}$(mode)) en utilisant un modèle de la part de dépense sur les modes (d_m).

$$\eta^m_{C_m}(\text{mode}) = \frac{\partial T_m}{\partial C_m} \cdot \frac{C_m}{T_m} = \frac{\partial T_m}{\partial d_m} \cdot \frac{\partial d_m}{\partial C_m} \cdot \frac{C_m}{T_m} \qquad (6.1)$$

où

d_m = part de la dépense consacrée au mode m

$$d_m = \frac{C_m \cdot T_m}{\Sigma_l C_l \cdot T_l} \qquad (6.2)$$

Cependant, on sait que le nombre de voyages avec le mode m est identiquement égal au produit du nombre total de voyages et de la part des voyages avec le mode m; le calcul de ($\eta^m_{C_m}$(mode)) avec (6.1) cache donc implicitement une estimation d'une élasticité-prix de la demande totale. Nous pensons que

l'élasticité-prix de la demande totale doit provenir d'un modèle qui traite directement de la demande totale et non pas d'un modèle qui explique les parts de dépenses.

6.1.3 Le modèle Abdelawahab (1990)

Des problèmes de spécification justifient l'omission du modèle probabiliste Abdelawahab. En effet, pour le motif affaires, la variable prix n'est pas incluse dans le modèle Abdelawahab car elle n'avait pas le «bon» signe, c'est-à-dire qu'une augmentation du prix d'un mode cause une augmentation de la probabilité de choisir ce mode.

7. Conclusion

Par le passé, plusieurs modèles de la demande de transport interurbain des personnes ont été calibrés. Les élasticités-prix de la demande de transport provenant de ces modèles sont difficilement comparables car elles sont basées sur des prix et des demandes différents. Cette étude a comparé, pour la première fois, différents modèles par rapport aux élasticités-prix qu'ils engendrent.

Pour ce faire, nous avons comparé les élasticités-prix (propres et croisées) de la demande des modes de transport à l'intérieur de quatre marchés canadiens en utilisant les paramètres de neuf modèles économétriques. Les quatre marchés canadiens sont : Montréal-Ottawa, Montréal-Toronto, Toronto-Vancouver et un marché représentatif composé de 155 marchés canadiens.

Pour chacun des quatre marchés analysés, il a été possible de suggérer des élasticités-prix basées sur certains modèles économétriques. En effet, suivant le marché étudié, il a fallu ignorer l'un ou l'autre modèle. Par exemple, les modèles estimés à partir de l'information du corridor Québec-Windsor ne peuvent s'appliquer à l'étude des voyages du marché Toronto-Vancouver.

Les élasticités propres des modes train et autocar sont pratiquement identiques pour tous les marchés. Elles sont toutes les deux inélastiques (environ –0,6) pour le marché Montréal-Ottawa et élastiques (environ –1,3) pour les autres marchés. La demande du mode auto est quasiment d'élasticité unitaire (environ –0,9) pour le marché de «longue distance»

Toronto-Vancouver, et inélastique (environ –0,3) pour les autres marchés. Contrairement au mode auto, la demande du mode avion est inélastique pour le marché Toronto-Vancouver (environ –0,6) et élastique pour les autres marchés.

Nous avons constaté que, en général, la substitution modale est très importante. En effet, une variation du prix d'un mode de transport entraîne une substitution entre les modes plus forte que le changement de la demande totale de voyages.

NOTES

1. L'auteur tient à remercier Marc Gaudry, Sophie Mahseredjian et John Sargent pour leurs observations.

2. L'équation (2.2) est la formule d'élasticité du modèle Logit avec une fonction d'utilité linéaire. Cette formule ne sert qu'à titre d'exemple pour expliciter les trois informations. Les élasticités des modèles étudiés à la partie suivante ne proviennent donc pas nécessairement de l'équation (2.2).

3. Puisqu'il est clair que toutes les élasticités-prix faisant l'objet d'une discussion à la partie 3 proviennent de l'approximation de l'élasticité-prix agrégée, on omet le terme descriptif «approx.» a été omis pour faciliter la lecture.

4. La discussion qui suit n'est nullement restreinte à l'approximation de l'élasticité-prix agrégée décrite à la partie 2. En effet, on peut reconnaître les mêmes effets sur les élasticités-prix agrégées de l'équation (2.1).

5. Plus précisément, les élasticités-prix sont décroissantes par rapport au prix, si le prix est supérieur à 1,40 $.

6. Ce modèle provient d'une légère modification apportée à celui qui apparaît dans la colonne 0^1 du tableau 5 de l'article de Gaudry et al (1989).

7. Les élasticités contenues dans les lignes 1, 2, 4 et 5 sont aussi calculées par Miller et Fan (1992) (voir tableau 4(b)). Pour des raisons qui nous sont inconnues, nous obtenons des élasticités différentes.

8. Miller et Fan (1992) décrivent les modèles de la demande de transport interurbain des personnes et ils en discutent.

Références

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

Andrikopoulos, A. et J.A. Brox, «Canadian Intercity Passenger Transportation: A Simultaneous Equation Approach», *International Journal of Transport Economics*, 17,1990, pp. 311-328.

Dagenais, M.G. et M.J.I. Gaudry, «Can Aggregate Travel Demand Models Work?», *Proceedings of the World Conference on Transport Research*, Centre for Transportation Studies, University of British Columbia, Vancouver, vol. 2, 1986, pp. 1669-1676.

Gaudry, M.J.I., S.R. Jara-Diaz et J. de D. Ortuzar, «Value of Time Sensitivity to Model Specification», *Transportation Research* B 23(2), 1989, pp.151-158.

Gaudry, M.J.I. et M.J. Wills, «Estimating the Functional Form of Travel Demand Models», *Transportation Research B*, 12, 1978, pp. 257-284.

Grayson, A., «Disaggregate Model Choice in Intercity Travel», *Transportation Research Record 835*, 1981, pp. 36-42.

HORIZONS, «Passenger Rail Demand Forecasting Study, Final Report», cahier de recherche T015-6-32, VIA Rail, juillet 1989.

Miller, E.J., et K.S. Fan, «La demande de transport des voyageurs : étude des modéles interurbains de répartition modale au Canada et ailleurs», vol. 4 de *Directions : le rapport final de la Commission sur le transport des voyageurs au Canada*, Ottawa Approvisionnements et Services Canada, 1992.

Oum, T.H. et D.W. Gillen, «The Structure of Intercity Travel Demands in Canada: Theory, Tests, and Empirical Results», School of Business, Queen's University, document de travail, 1979, pp. 79-18.

Peat-Marwick, «Évaluation du marché pour un train à grande vitesse dans le corridor Québec/Ontario», rapport final pour le Groupe de travail Québec/Ontario, Train rapide dans le corridor Québec-Windsor, KPMG, 1990.

Rea, J.C., J. Platts et M. Wills, «The Potential for Rail Passenger Services in the Windsor-Quebec Corridor», *Tribune de l'ARTC*, été 1977, pp. 9-15.

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.

Stopher, P.R. et J.N. Prashker, «Intercity Passenger Forecasting: The Use of Current Travel Forecasting Procedures», *Transportation Research Forum Proceedings*, 17, 1976, pp. 67-75.

Wilson, F.A., 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.

ANNEXE 1. ÉLASTICITÉS DES PARTS MODALES DU MODÈLE HORIZONS

Tableau A.1
ÉLASTICITÉS-PRIX DU MODÈLE HORIZONS

Marché représentatif								
	Élasticités de la demande modale				Élasticités de la part modale			
	Auto	Avion	Train	Autocar	Auto	Avion	Train	Autocar
Part auto	−1,90	0,07	0,02	0,01	−0,50	0,19	0,05	0,04
Part avion	0,77	−1,98	0,05	0,04	2,17	−1,86	0,08	0,06
Part train	0,77	0,19	−0,97	−0,10	2,17	0,31	−0,93	−0,08
Part autocar	0,77	0,19	−0,14	−0,73	2,17	0,31	−0,11	−0,71
Demande totale	−1,40	−0,12	−0,03	−0,02	—	—	—	—
Marché Montréal-Ottawa								
	Élasticités de la demande modale				Élasticités de la part modale			
	Auto	Avion	Train	Autocar	Auto	Avion	Train	Autocar
Part auto	−0,23	0,00	0,00	0,01	−0,06	0,01	0,01	0,03
Part avion	0,09	−0,78	0,01	0,02	0,25	−0,77	0,02	0,04
Part train	0,09	0,01	−0,19	−0,02	0,25	0,01	−0,19	−0,01
Part autocar	0,09	0,01	−0,01	−0,16	0,25	0,01	0,00	−0,14
Demande totale	−0,16	−0,01	−0,01	−0,02	—	—	—	—
Marché Montréal-Toronto								
	Élasticités de la demande modale				Élasticités de la part modale			
	Auto	Avion	Train	Autocar	Auto	Avion	Train	Autocar
Part auto	−0,69	0,10	0,03	0,01	−0,35	0,27	0,09	0,02
Part avion	0,18	−1,16	0,06	0,01	0,51	−0,99	0,11	0,02
Part train	0,18	0,17	−0,56	−0,02	0,51	0,35	−0,51	−0,01
Part autocar	0,18	0,17	−0,11	−0,33	0,51	0,35	−0,05	−0,32
Demande totale	−0,33	−0,17	−0,06	−0,01	—	—	—	—
Marché Toronto-Vancouver								
	Élasticités de la demande modale				Élasticités de la part modale			
	Auto	Avion	Train	Autocar	Auto	Avion	Train	Autocar
Part auto	−7,79	1,22	0,07	0,01	−7,73	3,46	0,20	0,02
Part avion	0,03	−2,65	−0,09	0,01	0,09	−0,41	0,22	0,02
Part train	0,03	1,64	−2,73	−0,06	0,09	3,88	−2,60	−0,05
Part autocar	0,03	1,64	−0,70	−1,47	0,09	3,88	−0,57	−1,46
Demande totale	−0,06	-2,24	−0,13	−0,01	—	—	—	—

21

DIFFÉRENCES DANS LES RÉGIMES DE TAXATION CANADIEN ET AMÉRICAIN APPLICABLES AUX ENTREPRISES DE TRANSPORT VOYAGEURS

Ken McKenzie,* Jack Mintz* et Kim Scharf*
Juillet 1992

1. Introduction

La compétitivité intermodale et internationale du secteur canadien du transport des voyageurs est devenue un sujet d'actualité, quoique quelque peu controversé. Un aspect particulièrement intéressant est l'effet ou l'absence d'effet, sur cette compétitivité, du régime canadien de taxation. L'objet de la présente étude est d'examiner et de comparer quantitativement l'incidence des taxes et impôts sur la compétitivité intermodale des entreprises canadiennes et américaines de transport interurbain des voyageurs (par avion, autocar et train).

Pour déterminer l'incidence des taxes et impôts sur la compétitivité, il est important de préciser le sens donné au terme «compétitif». La présente étude traite tout particulièrement de la compétitivité sur le plan des coûts. Les taxes peuvent réduire la capacité des entreprises de transport de concurrencer tant des entreprises d'autres modes de transport que des entreprises américaines, en modifiant le coût de la prestation des services de transport. Dans la mesure où elles influent différemment sur les coûts des divers modes de transport ou imposent un fardeau plus lourd aux entreprises canadiennes

* Université de Toronto.

par rapport à leurs pendants américains, elles ont un impact sur la compétitivité au niveau des coûts. La nouvelle méthode employée dans l'exécution de la présente étude permet de quantifier l'incidence des taxes sur le coût de la prestation des services de transport et de la comparer entre les divers modes.

Nombre de taxes peuvent influer directement ou indirectement sur la compétitivité des entreprises de transport sur le plan des coûts. Malheu-"reusement, les restrictions touchant certaines données nous ont empêché d'analyser toutes les taxes[1]. Voici les taxes fédérales et provinciales sur lesquelles ont porté notre analyse : taxes sur les carburants, impôts sur le revenu d'entreprise (par exemple, les impôts fédéral et provinciaux sur le revenu des sociétés et les taxes provinciales sur le capital) et charges sociales (y compris l'assurance-chômage, le RPC/RRQ et les diverses taxes provinciales pour services de santé). À noter que l'instauration de la TPS a supprimé presque toutes les taxes fédérales qui frappaient les intrants d'entreprise sous le couvert de l'ancienne taxe de vente fédérale. En dépit du fait que les taxes provinciales de vente au détail sont encore perçues sur certains intrants d'entreprise, on n'en a pas tenu compte dans la présente analyse faute de données.

Voici les subdivisions de la présente étude. La section 2 présente une description heuristique de la méthode employée. Dans les sections 3 et 4 sont exposés et examinés les résultats de l'analyse quantitative. On y compare, entre autres, l'incidence des taxes sur les coûts des divers modes ainsi que sur les entreprises canadiennes et américaines. Suivent trois annexes assez approfondies. Dans l'annexe A, la méthode est reprise de façon plus rigoureuse que dans la section 2, tandis que les données canadiennes et américaines utilisées dans les calculs sont regroupées dans les annexes B et C.

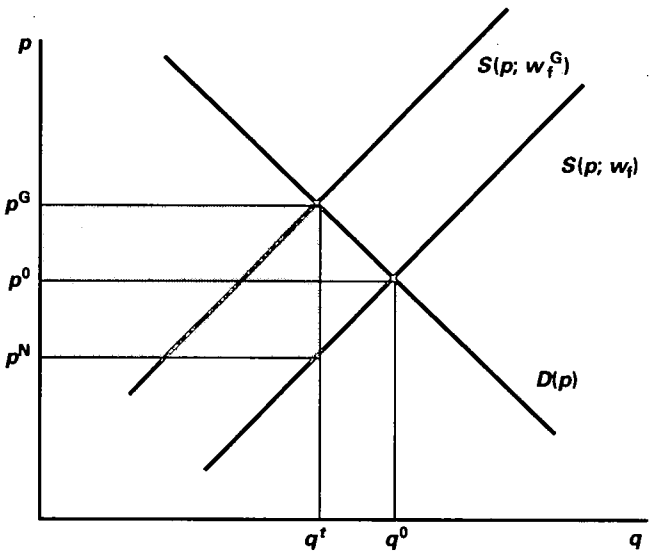
2. Méthodologie

Une façon courante de procéder à l'analyse comparative de l'incidence de la taxation sur les entreprises consiste à effectuer une analyse, telle la suivante, des mouvements de trésorerie : déterminer une entreprise «moyenne» ou «ordinaire» pour chaque mode de transport, additionner le montant total des taxes payées par cette entreprise et établir quel est le pourcentage de

celles-ci par rapport à l'ensemble des coûts, au revenu brut ou peut-être à une certaine définition des profits. Bien que cette méthode «comptable» d'usage courant soit utile pour déceler les différences importantes au niveau de la taxation des divers modes, elle n'a aucun fondement économique solide et ne fournit aucune réponse aux grandes questions qui sont examinées dans la présente étude : en quoi les taxes influent-elles sur le coût d'une unité de service de transport? Dans quelle mesure cette incidence varie-t-elle entre les divers modes? Pour répondre à ces questions, nous avons arrêté une nouvelle méthode qui s'inspire des principes fondamentaux de l'analyse économique élémentaire. Bien qu'elle se fonde sur des principes simples, on ne l'a jamais employée, d'après les auteurs, dans d'autres études sur les transports ou sur d'autres secteurs. On a aussi tenté d'expliquer la méthode de façon intuitive en se fondant sur des principes tirés de la théorie élémentaire des prix. Un exposé plus rigoureux est présenté à l'annexe A.

La chose est très simple. Elle consiste à examiner trois grands intrants utilisés dans la prestation des services de transport : le capital (les bâtiments, terrains, machinerie et équipement, ainsi que les «avions, trains et automobiles» mêmes), le travail et le carburant. Le coût de la prestation d'une unité de service de transport traduit, celui de l'achat de ces trois intrants et celui-ci, à son tour, peut refléter les diverses taxes directes ou indirectes qui frappent ces intrants. En conséquence, même si une taxe n'est pas comprise directement dans le coût de la prestation des services de transport, celui-ci n'en comprend pas moins les taxes perçues sur ces intrants. L'objet de la présente étude est de mesurer le taux «effectif» de taxation du coût de la prestation de la dernière unité, dite marginale, de service de transport. Ce taux de taxation effectif est simplement celui qui devrait (hypothétiquement) être perçu directement sur le coût marginal de prestation des services de transport si l'on veut obtenir le même coût marginal comprenant les diverses taxes qui frappent réellement les intrants d'entreprise. Dans la mesure où le taux de taxation effectif applicable au coût marginal de la prestation des services de transport diffère d'un mode à l'autre, le régime de taxation affecte la capacité des trois modes de se faire concurrence et de rivaliser avec leurs pendants américains.

Figure 1
LE MARCHÉ DE LA PRESTATION DES SERVICES DE TRANSPORT



La meilleure façon d'illustrer la méthodologie consiste à examiner l'exemple proposé à la figure 1. Comme on l'a vu plus haut, les intrants qui servent à produire les services de transport sont regroupés en trois catégories appelées capital, travail et carburant. Le coût de l'achat d'une unité de chacun de ces intrants est déterminé par l'offre et la demande sur le marché correspondant. Prenons le coût du carburant, par exemple. Les auteurs de la présente étude ont avancé l'hypothèse que le prix du carburant à la production était fixe. Cela revient à supposer que la courbe de l'offre du carburant est tout à fait élastique. S'il n'y a pas de taxes, le coût d'une unité de carburant correspond tout simplement, pour le secteur des transports, au prix fixe à la production, qui est exprimé par w_f.

Voyons maintenant le marché de la prestation des services de transport assurés par l'industrie de l'autocar, par exemple. Le prix d'une unité de ces services est déterminé par la situation de l'offre et de la demande sur ce marché. Pour simplifier l'exposé, on suppose que le marché de la prestation des services d'autocar est soumis à des conditions parfaites de concurrence[2]. Le prix d'une unité de transport par autocar en l'absence de taxes est illustré à la figure 1, où p est le prix, $D(p)$ la courbe de la demande globale de

services d'autocar, et $S(p; w_f)$ la courbe de l'offre globale. Nous verrons bientôt pourquoi w_f est inclus dans la fonction de l'offre. Le prix d'équilibre, en l'absence de taxes, est déterminé par l'intersection de $D(p)$ et de $S(p; w_f)$, et est exprimé par p^0. (Prière de ne pas tenir compte du reste de la figure pour l'instant.)

Quel est le rapport entre le marché des intrants et celui de la production ou prestation de services? Selon la théorie courante des prix, la courbe de l'offre globale pour la production est simplement la somme (horizontale) des courbes des coûts marginaux de chaque fournisseur. Ces dernières correspondent au coût de la prestation d'une unité supplémentaire de production à tous les niveaux. Les coûts marginaux augmentent pour la tranche correspondante de production (c'est-à-dire qu'il en coûte plus cher de fournir la dixième unité de production que la première), ce qui fait que la courbe de l'offre globale est ascendante — une production supplémentaire est assurée à des prix plus élevés. Le coût marginal de la prestation d'une unité supplémentaire de production par les divers fournisseurs reflète naturellement le coût de leurs intrants. C'est ce qui explique que la fonction globale de la prestation de services de transport s'exprime par $S(p; w_f)$ — de manière à faire ressortir le fait qu'elle montre la quantité de services qui sont assurés à divers prix de revient pour le prix w_f de l'intrant carburant. Pour simplifier les choses, seul ce dernier prix a été inclus dans la fonction. Bien entendu, celui du capital et du travail sera également touché. Si le prix des intrants augmente, il en sera de même pour le coût marginal de production d'une unité additionnelle et la courbe de l'offre globale se déplacera vers le haut. Tel est, entre le marché des intrants et celui de la production, le lien clé qui permet de déterminer l'incidence que les taxes sur les intrants d'entreprise ont sur le coût marginal de la prestation des services de transport. Si les taxes font augmenter le coût d'utilisation d'un intrant comme le carburant, le coût marginal de prestation d'une unité additionnelle de transport augmentera également pour l'entreprise; l'importance de cette augmentation dépend de la substituabilité des divers intrants et de la manière de les combiner.

Étant donné que, pour les besoins de l'exposé, nous avons posé pour hypothèse que le marché de la production est parfaitement compétitif, le prix d'équilibre d'une unité de service de transport fourni par les autocaristes est égal au coût marginal de prestation de la dernière unité. En conséquence, $p^0 = \mathrm{MC}(q^0; w_f)$, où $\mathrm{MC}(q^0; w_f)$ correspond au coût marginal de prestation

de la dernière unité de service de transport étant donné que le prix du carburant est w_f et que la production totale est q^0.

Supposons qu'une taxe de t % est perçue sur le carburant. L'incidence de cette taxe sur le coût des services d'autocar peut être illustrée à l'aide de la figure 1. Étant donné l'hypothèse que le prix du carburant à la production est fixe à w_f, le prix d'utilisation augmente de w_f à w_f^G, où $w_f^G = w_f(1 + t)$. Cependant, l'aspect vraiment intéressant est la portée de la taxe sur le carburant au niveau du coût de la prestation d'une unité supplémentaire de transport par autocar, et non du coût même du carburant à l'utilisateur. C'est là qu'entrent en jeu les rapports mentionnés ci-dessus entre le marché des intrants et celui de la production.

Comme on l'a mentionné plus tôt, la perception d'une taxe sur le carburant fait passer de w_f à w_f^G le prix d'utilisation du carburant pour l'industrie de l'autocar. Cette hausse fait à son tour augmenter le coût marginal de la prestation d'une unité de transport par autocar. En conséquence, les courbes du coût marginal de chaque entreprise amorcent une remontée en raison de la taxe sur le carburant, ce qui fait passer à $S(p; w_f^G)$ la courbe de l'offre globale illustrée à la figure 1, qui correspond à la courbe de l'offre des services d'autocar, compte tenu du prix maintenant majoré de w_f^G comprenant la taxe sur les intrants. L'augmentation des coûts marginaux et, en conséquence, la remontée de la courbe de l'offre globale entraînent une majoration du prix d'équilibre des services d'autocar de p^0 à p^G, où p^G correspond au prix comprenant taxes sur le carburant d'une unité de transport par autocar. La production de l'industrie passe à q_t.

On se rappellera que, par suite de l'hypothèse selon laquelle le marché de la production est dans des conditions parfaites de concurrence, le prix à la production est égal au coût marginal de la dernière unité de production; en conséquence, $p^G = \mathrm{MC}(q^t; w_f^G)$, où $\mathrm{MC}(q^t; w_f^G)$ est le coût marginal, comprenant taxes sur le carburant, de la prestation de la dernière unité de production exprimé comme fonction du prix w_f^G d'utilisation du carburant. Parallèlement au coût marginal comprenant taxes d'une unité de service de transport, il existe un coût marginal excluant taxes, appelé $p^N = \mathrm{MC}(q^t; w_f^G)$, où w_f est le prix fixe de prestation d'une unité de carburant, comme nous l'avons vu plus haut.

Le taux de taxation effectif lié au coût marginal de prestation de services d'autocar se définit comme étant le taux T qui, s'il était (hypothétiquement) appliqué directement au coût marginal du transport par autocar, donnerait le même coût marginal incluant taxes que si ce coût comprenait la taxe sur le carburant. En conséquence, T permet de résoudre l'équation $(1 + T)\mathrm{MC}(q^t; w_f) = \mathrm{MC}(q^t; w_f^G)$, ce qui donne $T = [\mathrm{MC}(q^t; w_f^G) - \mathrm{MC}(q^t; w_f)]/\mathrm{MC}(q^t; w_f)$.

Le taux de taxation effectif lié au coût marginal de production donne le taux de taxation lié aux coûts marginaux occasionnés par les diverses taxes perçues sur les intrants d'entreprise. À titre indicatif, l'étude gravite autour d'une simple taxe sur le carburant et de son incidence sur le coût marginal de la prestation des services d'autocar; bien entendu, d'autres taxes frappent tant le carburant que les autres intrants utilisés dans les secteurs de transport par autocar, avion et train. Toutes ces taxes influent sur le coût marginal du transport parce qu'elles font augmenter le coût des intrants pour celui qui les utilise. Il est possible de déterminer un taux de taxation effectif rattaché aux coûts marginaux, qui reflète globalement toutes ces taxes pour chacun des trois modes. Les valeurs estimatives de T sont présentées à la partie 3 pour chacun des modes de transport par autocar, avion et train, tant au Canada qu'aux États-Unis.

La simplicité de l'exposé qui précède montre à quel point l'approche est directe, mais elle cache en outre un nombre d'importantes difficultés empiriques dans la mesure réelle du taux de taxation effectif compris dans les coûts marginaux. Quelques-unes de ces difficultés sont mentionnées ici. L'examen plus approfondi en est reporté aux annexes traitant des données et de la méthodologie.

La première difficulté concerne la fonction des coûts marginaux. Pour estimer la valeur de T, il faut choisir une forme fonctionnelle particulière pour la fonction des coûts. Divers choix sont possibles, dont des formes fonctionnelles généralisées, l'élasticité constante de substitution (ECS) et la fonction Cobb-Douglas (C-D), qui est une fonction particulière de l'ECS. À la partie 3 sont présentées des valeurs estimatives de T fondées sur une fonction de coût C-D à rendements d'échelle constants. Cette fonction a été largement utilisée dans d'autres travaux empiriques. Pour ce paramétrage, il s'avère que T est une simple fonction des parts attribuées à chacun des facteurs capital, travail et carburant, ainsi que des taux effectifs de taxation des intrants d'entreprise compris dans le système de taxation. À l'annexe A, on peut voir que, pour cette forme fonctionnelle, T est déterminé ainsi :

$$T = (1 + t_k)^{\alpha_k}(1 + t_f)^{\alpha_f}(1 + t_l)^{\alpha_l} - 1 \qquad (1)$$

où t_i est le taux de taxation effectif de l'intrant i, où $i = k,f,l$, pour le capital, le travail et le carburant, respectivement; α_k est la part de l'intrant capital, α_f celle de l'intrant carburant et α_l celle du travail, où $\sum_i \alpha_i = 1$ suivant l'hypothèse des rendements d'échelle constants. La valeur de T est calculée pour chacun des modes de transport, autocar, train et avion, et bien entendu, la part de chaque intrant et les taux de taxation effectifs des intrants d'entreprise peuvent varier d'un secteur à l'autre.

La simplicité de l'énoncé de T, dans le cas de la fonction C-D, est trompeuse, car il existe un certain nombre de difficultés d'ordre pratique. La première concerne la détermination des taux de taxation effectifs des intrants d'entreprise mêmes — soit les t, dans l'expression qui précède. Un certain nombre de problèmes se posent. Ainsi, une simple taxe *ad valorem* sur le carburant, comme celle dont on vient de parler, est directe; cependant, l'assiette de bon nombre de taxes provinciales sur le carburant est particulière et, dans certains cas, il s'agit du litre. Il est donc nécessaire de convertir ces taxes dont l'assiette est le litre en taux *ad valorem* à partir des prix de vente moyens du carburant. Cela est relativement simple à régler; les deux autres intrants, le travail et le capital, suscitent des difficultés plus grandes.

Dans le cas du capital, les régimes fiscaux fédéral et provinciaux traitent différemment le capital utilisé dans les trois secteurs. Ainsi, des taux différents de déduction pour amortissement (DPA) s'appliquent aux autocars, aux avions et aux trains, et les règles servant à attribuer le revenu imposable aux diverses provinces varient considérablement pour les trois modes. De plus, le «taux d'amortissement économique» des biens utilisés dans les trois secteurs n'est pas le même. Le taux de taxation effectif du capital t_c tient compte de toutes ces différences et de certaines autres non mentionnées ici. Il existe aussi, au niveau des calculs, une difficulté qui concerne précisément la signification de «capital». Des biens divers (machinerie et équipement, bâtiments, terrains, etc.) sont soumis à différents taux de taxation effectifs, et il faut faire une certaine agrégation pour déterminer le taux de taxation effectif sur l'intrant global appelé «capital».

Dans le cas du travail, l'estimation de t_l suscite également des difficultés. Nombre des charges sociales prélevées sur le travail, par exemple les cotisations aux RPC/RRQ et à l'assurance-chômage, sont perçues à un taux

uniforme jusqu'à un certain niveau de revenu. Le taux moyen des charges sociales varie donc suivant le revenu des travailleurs. De plus, il peut varier suivant l'état civil des intéressés. Étant donné que les auteurs de la présente étude cherchent à déterminer l'incidence des taxes sur les coûts marginaux — à savoir le coût de la prestation d'une unité de production supplémentaire — il faut également déterminer l'incidence des taxes sur le coût, pour l'utilisateur, de l'embauche d'un travailleur supplémentaire. Il est cependant impossible de déterminer le taux de taxation effectif de ce travailleur supplémentaire sans connaître son revenu! On a donc utilisé des données sur l'emploi pour chaque mode afin de tracer le profil du travailleur «moyen» dans chaque secteur. Voir les détails à l'annexe B.

Une autre difficulté touche le traitement et l'interprétation de certaines taxes liées aux dépenses de l'État. Les charges sociales, les impôts fonciers et les taxes sur le carburant peuvent être considérés comme des «taxes-services» du fait qu'ils servent à financer directement des avantages particuliers comme la prestation des soins de santé et des services municipaux et les infrastructures de transport qui profitent aux entreprises.

On se demande alors si des prélèvements de ce genre devraient être comparés aux autres taxes qui sont moins directement liées à la prestation d'avantages, par exemple l'impôt général sur le revenu ou la taxe de vente. À cet égard, deux problèmes se posent. Le premier est que, bien que ces taxes-services fassent sûrement augmenter le coût marginal de la prestation des services de transport, au même titre que les autres taxes, on pourrait estimer non justifié de tenir compte des coûts associés à ces taxes sans comptabiliser également les avantages qu'elles procurent — par exemple, la possibilité d'avoir un effectif en meilleure santé grâce à l'universalité des soins médicaux — ce qui peut bien réduire les coûts. En second lieu, en l'absence de telles taxes-services, les employeurs peuvent financer eux-mêmes des avantages comme les régimes d'assurance-maladie, le traitement des eaux usées et les infrastructures de transport, ou dans le cas des charges sociales, les travailleurs peuvent être appelés à assumer une partie des coûts, ce qui risque d'entraîner des demandes salariales plus élevées. Dans chaque cas, l'élimination de services gouvernementaux, et des taxes qui servent à les financer, peut entraîner, dans les faits, des hausses de coûts. Il n'est donc pas si certain que ces taxes-services influent réellement sur les coûts de production. D'autre part, les taxes peuvent n'être pas liées directement aux dépenses. Ainsi, si une entreprise embauche un travailleur supplémentaire et en assume les charges sociales, les services de l'État sont

offerts quels que soient les «risques sur le plan assurance» que représente le travailleur (par exemple, il n'existe pas d'assurance-sociale «liée à l'expérience»).

On peut en dire autant des taxes sur le carburant qui n'ont guère de rapport avec la prestation de services routiers. D'autre part, les impôts fonciers sont liés directement à la prestation de services municipaux aux entreprises, notamment à l'aménagement. Aussi, calcule-t-on de la même manière que toute autre taxe les taux de taxation effectifs liés aux coûts marginaux dans le cas où les charges sociales et les taxes sur le carburant influent sur les coûts. De plus, étant donné la rareté des données mentionnées plus tôt et la difficulté de quantifier l'élément avantage des impôts fonciers, ceux-ci n'ont pas été inclus dans les calculs.

Enfin, il y aurait lieu de faire état des limites que comporte l'approche adoptée pour la présente étude. Bien que l'analyse aille beaucoup plus loin que la plupart des études traitant de l'incidence de la taxation sur la compétitivité au niveau des coûts en tenant compte explicitement des liens entre le marché des intrants et celui de la production et des techniques qui la sous-tendent, elle ne permet pas d'en arriver à un équilibre parfait des facteurs. Ainsi, les prix à la production sont établis à un taux fixe lorsqu'il s'agit de déterminer l'incidence des taxes sur les coûts des intrants pour l'utilisateur. Bien que cela puisse se justifier dans une petite économie ouverte comme celle du Canada, et cela, pour certains intrants comme le capital, la chose peut être discutable pour d'autres intrants, notamment pour le travail. De façon plus générale, il faudrait également comptabiliser l'incidence des taxes sur les prix à la production. Cela nécessiterait de toute évidence une analyse complète de l'équilibre général, ce qui déborde le cadre de la présente étude.

3. Principaux résultats de la comparaison des divers modes de transport au Canada

Les principaux résultats de l'analyse sont présentés aux tableaux 1 à 6 où figurent les chiffres estimatifs des divers taux de taxation effectifs (t_k, t_l, t_f, et T) des entreprises canadiennes de transport.

Au tableau 1 figurent les chiffres estimatifs du taux de taxation effectif du capital, t_k, à la fois par catégorie d'immobilisations et pour l'ensemble. Pour

chaque mode, les immobilisations sont réparties en cinq grandes catégories : construction immobilière, travaux de génie civil, machinerie et équipement, autocars et biens immobilisés portés à un compte de frais[3]. Les calculs montrent que, dans l'ensemble, les immobilisations de l'industrie ferroviaire sont soumises à un taux de taxation légèrement supérieur à celui des secteurs de l'autocar et de l'aviation (33,0 %, 30,9 % et 22,6 %, respectivement). Globalement, le régime canadien de taxation semble favoriser davantage l'investissement dans ce dernier secteur, au détriment de ceux de l'autocar et du train.

Tableau 1
TAUX MARGINAUX EFFECTIFS DE TAXATION DU CAPITAL AU CANADA

	Train	Autocar	Avion
	(%)		
Paramétrage			
Pourcentage des capitaux empruntés par rapport à l'ensemble du financement	43	43	43
Pourcentage des capitaux propres par rapport à l'ensemble du financement	57	57	57
Rendement nominal des capitaux empruntés	12	12	12
Rendement nominal des capitaux propres	20	20	20
Taux d'inflation	5	5	5
Taux effectifs de taxation des immobilisations			
Construction immobilière	44,3	44,3	49,1
Travaux de génie civil	29,6	44,3	29,8
Machinerie et équipement	37,8	s/o	16,3
Autocars	s/o	27,7	s/o
Biens immobilisés portés à un compte	2,3	2,3	2,3
Taux global (t_k)	33,0	30,9	22,6

Les différences entre les taux marginaux effectifs de taxation du capital traduisent principalement les écarts qui existent entre les taux de déduction pour amortissement (DPA) (non indexés sur l'inflation) et les taux d'amortissement «économique». Ainsi, le taux de DPA applicable à la machinerie et à l'équipement dans le secteur de l'aviation est de 25 %, soit deux fois et demie le chiffre estimatif de 10 % comme taux d'amortissement économique pour cette catégorie. Pour l'industrie ferroviaire, le taux de DPA applicable à la même catégorie est de 10 %, ce qui correspond presque à un taux d'amortissement économique de 8 %, et l'industrie de l'autocar bénéficie d'un taux de DPA de 30 %, soit seulement une fois et demie le taux d'amortissement économique de 20 %[4]. Cela peut donner lieu à un traitement préférentiel du secteur de l'aviation par rapport à ceux du train et de l'autocar : comme on

l'a vu au tableau 1, ces deux derniers secteurs sont effectivement soumis à des taux marginaux de taxation plus élevés sur la machinerie et l'équipement.

Le taux global de taxation effectif du capital pour chaque mode est la moyenne pondérée des taux de taxation effectifs pour chaque catégorie d'immobilisations. Si un mode affiche un taux marginal élevé de taxation effectif à l'égard d'une catégorie particulière mais que le poids attribué à celle-ci est relativement minime, ce taux élevé peut être neutralisé par la faible pondération de l'immobilisation. La chose est illustrée au tableau 1 où l'on voit que l'autocar est soumis au taux marginal effectif de taxation le plus élevé en ce qui touche les travaux de génie civil (44,3 % par rapport à 29,6 % et 29,8 % pour le train et l'avion, respectivement). Cependant, le poids attribué à cette catégorie n'est que de 1,1 %, comparativement à 62,3 % pour le train[5]. En conséquence, le désavantage fiscal relatif que représentent les travaux de génie civil pour l'industrie de l'autocar est partiellement compensé par le faible poids des immobilisations dans cette catégorie; le taux global effectif de taxation du capital dans l'industrie de l'autocar n'en demeure pas moins plus bas que le taux de taxation effectif de la catégorie des travaux de génie civil.

Les tableaux 2 et 3 contiennent les chiffres estimatifs des taux marginaux effectifs t_l de taxation du travail pour chacun des modes. Au tableau 2 figurent les taux effectifs des charges sociales pour les travailleurs, par tranche de revenu. Ces taux sont identiques pour tous les modes étant donné que les charges sociales sont uniformes pour tous les secteurs de production. Par opposition, le tableau 3 présente le taux effectif des charges sociales du travailleur moyen de chaque secteur, suivant une moyenne pondérée fondée sur les statistiques de l'emploi afin de trouver la valeur de t_l pour chaque mode. Il en ressort que les taux de taxation effectifs de chacun de ceux-ci sont très voisins (soit 5,4 %, 4,2 % et 5,6 % pour le train, l'avion et l'autocar, respectivement). Les écarts sont uniquement attribuables aux différences de composition de la main-d'oeuvre de chaque mode.

Tableau 2

TAUX MARGINAUX EFFECTIFS DE TAXATION DU TRAVAIL AU CANADA, PAR TRANCHE DE REVENU
TOUS LES MODES

Revenu ($ CAN)	%
0–30 500	3,8
30 501–35 000	6,6
35 001–40 000	5,9
40 001–45 000	5,3
45 001–50 000	4,9
50 001–55 000	4,5
55 001–60 000	4,2
60 001–65 000	4,0
65 001–70 000	3,8
70 001–75 000	3,6
75 001–80 000	3,4
80 001–	2.9

Tableau 3

TAUX MARGINAUX EFFECTIFS DE TAXATION DU TRAVAIL AU CANADA (%)
(MOYENNE PONDÉRÉE)

Train	Autocar	Avion
5,41	4,18	5,61

Le tableau 4 présente les taux marginaux effectifs de taxation t_f du carburant commercial et industriel pour chacun des modes. C'est l'industrie de l'autocar qui est aux prises avec le t_f le plus élevé pour le carburant : 63,6 % par rapport à 38,3 % pour le train et à 32 % pour les vols intérieurs[6]. Comme bon nombre des avions en partance des aéroports canadiens proviennent d'un autre pays ou ont une destination étrangère, les avions canadiens font le plein dans le pays où le coût brut du carburant est le plus bas. Étant donné que les États-Unis sont le pays étranger le plus proche et que les taxes sur le carburant y sont très basses par rapport aux taxes canadiennes, on a établi un taux de taxation combiné et pondéré, effectivement applicable au carburant, qui tient compte des volets national et étranger de l'exploitation des sociétés aériennes canadiennes. On a supposé que les taux nationaux étaient ceux qui ont été mentionnés ci-dessus. Les taux de taxation du carburant effectivement pratiqués aux États-Unis ont été utilisés afin de tenir compte de ceux auxquels sont soumises les sociétés aériennes canadiennes qui exécutent des vols internationaux. Ces taux effectifs ont été pondérés suivant la proportion de carburéacteur employé au Canada pour les vols

nationaux et celle qui est utilisée pour les vols internationaux. Pour les besoins de la comparaison, on a également mentionné le taux effectif de la taxe que les sociétés aériennes canadiennes doivent payer sur le carburant lorsque leurs appareils font le plein aux États-Unis. D'après les calculs, le taux canado-américain effectif est de 25,7 %, ce qui est en-deçà du taux mentionné ci-dessus à l'égard des seuls vols intérieurs mais qui est de beaucoup supérieur au taux américain correspondant (5,6 %).

Tableau 4
TAUX MARGINAUX EFFECTIFS DE TAXATION DU CARBURANT AU CANADA (%)

	Train	Autocar	Avion		
			Canada	États-Unis	Canado-américain
Commercial et industriel	38,3	63,3	32,0	5,6	25,7

Bien que la comparaison du taux de taxation effectif de chacun des intrants utilisés dans la prestation de services de transport suscite à coup sûr un certain intérêt, il est nécessaire, si l'on veut comparer l'incidence des taxes sur la compétitivité au niveau des coûts dans chacun des secteurs, de dépasser la simple analyse dimensionnelle et d'examiner en quoi l'action réciproque des diverses taxes frappant les intrants d'entreprise influe sur le coût de la prestation d'une unité supplémentaire de production dans les trois secteurs.

Comme on l'a vu dans la section précédente, il est possible de le faire en calculant le taux effectif de la taxe sur le coût de la prestation d'une unité supplémentaire de transport, taux qui se compose des diverses taxes frappant les intrants d'entreprise. Aux tableaux 5 et 6 figurent les chiffres estimatifs des taux de taxation effectifs liés au coût marginal de production, T, pour chacun des modes. Les calculs sont fondés sur une fonction de coûts Cobb-Douglas (C-D) à des rendements d'échelle constants qui permet de trouver la valeur de T en pondérant les t_i', $i = k,l,f$, par leur parts respectives des coûts totaux. Ces parts s'expriment par : α_i, où $i = k,l,f$.

Dans le tableau 5, les taux de taxation effectifs liés aux coûts marginaux traduisent les parts suivantes des intrants travail, carburant et capital : 41,1 %, 8,6 % et 50,3 % dans l'industrie ferroviaire; 27,4 %, 18,1 % et 54,5 % dans l'industrie de l'aviation; 42,5 %, 8,4 % et 49,1 % dans l'industrie de l'autocar. (Ces parts ont été tirées de statistiques sur les transports de la

Commission royale sur le transport des voyageurs au Canada[7]). Pour ces parts d'intrant, l'industrie ferroviaire est soumise au taux effectif de taxation le plus élevé lié aux coûts marginaux, soit 21,3 %, suivie de près par l'autocar (21 %) et par l'avion (19,3 %). Les taux de taxation effectifs sont voisins pour les trois modes, ce qui laisse entrevoir que, tout compte fait, le régime canadien de taxation ne semble pas nuire beaucoup à la compétitivité entre les modes. Les désavantages relatifs que subit l'industrie de l'autocar sur le plan de l'intrant carburant sont largement compensés par les faibles taux effectifs de taxation du travail et, dans une moindre mesure, du capital[8].

Tableau 5

CANADA — TAUX EFFECTIFS DE TAXATION LIÉS AUX COÛTS MARGINAUX ET TAUX MARGINAUX EFFECTIFS DE TAXATION DES INTRANTS (PARTS DE RÉFÉRENCE DES INTRANTS)

		Train	Autocar	Avion
		(%)		
Paramétrage				
Pourcentage des capitaux empruntés par rapport à l'ensemble du financement	(β)	43	43	43
Pourcentage des capitaux propres par rapport à l'ensemble du financement	($1 - \beta$)	57	57	57
Rendement nominal des capitaux empruntés	(i)	12	12	12
Rendement nominal des capitaux propres	(ρ)	20	20	20
Taux d'inflation	(π)	5	5	5
Parts des intrants				
Travail	(α_l)	41,1	42,5	27,4
Carburant	(α_f)	8,6	8,4	18,1
Capital	(α_k)	50,3	49,1	54,5
Taux marginaux effectifs de taxation				
Travail	(t_l)	5,4	4,2	5,6
Carburant	(t_f)	38,3	63,3	32,0
Capital	(t_k)	33,0	30,9	22,6
Taux effectif de taxation lié aux coûts marginaux	(T)	21,3	21,0	19,3

Pour faire ressortir les incidences des différentes répartitions d'intrants dans chacun des modes, pour ce qui est de l'impact des taxes au point de vue de la compétitivité en matière de coûts, on a effectué une autre expérience où tous les autres paramètres sont demeurés constants et où les parts des intrants ont été ajustées de la manière suivante : les chiffres de Gillen, Oum

et Tretheway ont été utilisés pour le secteur aérien. Ces auteurs estiment que la répartition des intrants d'Air Canada, en 1980, était de 30,2 %, 21,7 % et 48,1 % pour le travail, le carburant et le capital, respectivement; en ce qui a trait à l'industrie ferroviaire, ce sont les chiffres de Statistique Canada qui ont été utilisés. Selon cet organisme, la répartition des intrants du Canadien National, en 1984, était de 56 %, 10 % et 34 % pour le travail, le carburant et le capital, respectivement. Pour ce qui est de l'industrie de l'autocar, la répartition demeure à peu près la même que la précédente (le changement le plus important touchant la part du carburant). Les résultats de cette expérience sont résumés au tableau 6.

Tableau 5

CANADA — TAUX EFFECTIFS DE TAXATION LIÉS AUX COÛTS MARGINAUX ET TAUX MARGINAUX EFFECTIFS DE TAXATION DES INTRANTS (PARTS DE RÉFÉRENCE DES INTRANTS)

		Train	Autocar	Avion
		(%)		
Paramétrage				
Pourcentage des capitaux empruntés par rapport à l'ensemble du financement	(β)	43	43	43
Pourcentage des capitaux propres par rapport à l'ensemble du financement	($1 - \beta$)	57	57	57
Rendement nominal des capitaux empruntés	(i)	12	12	12
Rendement nominal des capitaux propres	(ρ)	20	20	20
Taux d'inflation	(π)	5	5	5
Parts des intrants				
Travail	(α_l)	56	40	30
Carburant	(α_f)	10	16	22
Capital	(α_k)	34	44	48
Taux marginaux effectifs de taxation				
Travail	(t_l)	5,4	4,2	5,6
Carburant	(t_f)	38,3	63,3	32,0
Capital	(t_k)	33,0	30,9	22,6
Taux effectif de taxation lié aux coûts marginaux	(T)	17,2	23,8	19,2

De ces chiffres, il ressort clairement que, suivant la répartition modifiée, la part du carburant à titre d'intrant de l'industrie de l'autocar double presque (aux dépens du travail et du capital). Étant donné que le taux marginal de taxation effectif du gazole est élevé, il n'est pas surprenant que l'industrie

de l'autocar soit la plus taxée. Quant à l'industrie ferroviaire, la part du carburant ne varie que légèrement dans la répartition modifiée. La part du travail (intrant soumis au taux marginal effectif de taxation le plus faible) augmente aux dépens de celle du capital (intrant soumis au taux marginal effectif de taxation le plus élevé), d'où le fait que ce secteur est le moins taxé. Suivant la répartition modifiée, le régime de taxation semble procurer à ce secteur un avantage compétitif (17,2 %) par rapport à l'autocar (23,8 %). Le taux de taxation effectif lié aux coûts marginaux du secteur aérien demeure aux alentours de 19 %.

Enfin, une deuxième série d'expériences est fondée sur les taux effectifs de taxation du carburéacteur, soit les taux américains d'une part et, d'autre part, les taux canado-américains. Les résultats en sont présentés au tableau 7 où l'on peut voir que l'utilisation du taux canado-américain de 25,7 %, pour la taxation du carburant, renforce l'avantage dont jouit le secteur aérien sur ce plan. Les coûts marginaux de ce secteur comprennent actuellement des taux de taxation effectifs de 18,2 % et de 17,9 %, suivant la répartition respective des parts. De plus, si les avions canadiens réussissent à toujours faire le plein aux États-Unis, le taux de taxation effectif lié aux coûts marginaux est encore plus bas (14,6 % et 13,5 % selon la répartition respective des parts).

Dans ces calculs, on ne tient pas compte du fait que certaines entreprises de transport ne paient peut-être pas d'impôt une année donnée. En effet, une société qui subit des pertes fiscales peut, la chose est bien connue, payer plus ou moins d'impôt qu'une autre dont le revenu entier est imposable. Une entreprise qui déclare une perte fiscale ne peut reporter cette perte que sur trois années antérieures ou (sans intérêt) sur les sept années suivantes[9]. En conséquence, la valeur temporelle des pertes, si elles sont reportées sur une année ultérieure, diminue d'autant plus que l'entreprise tarde à les déduire.

Les incidences des pertes fiscales sont doubles. Les entreprises qui subissent des pertes économiques ou qui recourent à l'amortissement accéléré des nouveaux investissements ne peuvent se prévaloir immédiatement des déductions contrairement à celles qui ne reportent jamais leurs pertes sur des années ultérieures. Ces entreprises, qui courent souvent des risques, sont donc soumises à un taux d'imposition plus élevé que celles qui paient des impôts. D'autre part, les entreprises rentables qui reportent des pertes d'exercices antérieurs peuvent ainsi abriter de l'impôt le revenu provenant

de nouveaux investissements jusqu'à ce qu'elles commencent à payer de l'impôt. Les sociétés dont c'est le cas peuvent voir leurs investissements soumis à un taux de taxation effectif plus bas que les sociétés qui paient de l'impôt. Tout bien considéré, cependant, il est impossible d'évaluer dans quelle mesure les pertes influent sur le taux effectif de taxation du capital, à moins de disposer de plus de renseignements sur le profil temporel du revenu imposable et des pertes dans l'industrie des transports[10].

Tableau 7

TAUX DE TAXATION EFFECTIFS LIÉS AUX COÛTS MARGINAUX DU SECTEUR AÉRIEN D'APRÈS LES TAUX EFFECTIFS SUIVANTS DE TAXES SUR LE CARBURANT

Parts de référence des intrants		(%)
Travail	(α_l)	27,4
Carburant	(α_f)	18,1
Capital	(α_k)	54,5
Taux marginaux effectifs de taxation		
Travail	(t_l)	5,6
Carburant (Canada)	(t_f)	32,0
Carburant (États-Unis)	(t_f)	5,6
Carburant (canado-américain)	(t_f)	25,7
Capital	(t_k)	22,6
Taux effectif de taxation lié aux coûts marginaux (canadien)	(T)	19,3
Taux effectif de taxation lié aux coûts marginaux (États-Unis)	(T)	14,6
Taux effectif de taxation lié aux coûts marginaux (canado-américain)	(T)	18,2
Parts modifiées des intrants		
Travail	(α_l)	30
Fuel	(α_f)	22
Capital	(α_k)	48
Taux effectif de taxation lié aux coûts marginaux (canadien)	(T)	19,2
Taux effectif de taxation lié aux coûts marginaux (États-Unis)	(T)	13,5
Taux effectif de taxation lié aux coûts marginaux (canado-américain)	(T)	17,9

Il est également important de faire ressortir la variabilité des résultats aux changements de paramètres, notamment à la répartition des parts. Bien que la répartition de référence des parts des intrants montre que le régime de taxation des divers modes de transport est équitable, la répartition modifiée désavantage l'industrie de l'autocar, par rapport aux secteurs aérien et ferroviaire, sur le plan de la compétitivité.

4. Principaux résultats des comparaisons entre le Canada et les États-Unis

Dans la présente partie est effectuée la même analyse que dans la précédente, fondée cependant cette fois sur le régime américain de taxation; les résultats obtenus sont ensuite comparés à ceux de la section précédente. Les principaux résultats sont présentés aux tableaux 8 à 12.

Au tableau 8 figurent les chiffres estimatifs des taux marginaux effectifs de taxation du capital, t_k, à la fois par catégorie d'immobilisations et pour l'ensemble. Les résultats montrent qu'aux États-Unis l'industrie ferroviaire est soumise au taux effectif de taxation le plus élevé sur le capital (28,5 %), suivie par l'autocar (25,1 %) et par l'avion (19,5 %). Tout comme au Canada, les écarts entre les modes sont minimes en ce qui a trait aux taux effectifs de taxation du capital et, sur ce plan, les divers modes viennent dans le même ordre. Les investissements dans l'industrie ferroviaire sont soumis à un taux de taxation relativement plus élevé, tandis que ceux qui sont faits dans le secteur de l'aviation sont, dans l'ensemble, moins lourdement taxés selon le système américain en raison de la générosité des taux d'amortissement accordés à ce secteur par rapport au taux d'amortissement économique. Somme toute, le régime américain de taxation favorise les investissements dans le secteur aérien principalement, puis dans ceux de l'autocar et de l'industrie ferroviaire.

Globalement, les transporteurs américains sont soumis à des taux effectifs de taxation du capital légèrement plus bas que leurs homologues canadiens. Cette situation est en partie attribuable au régime de recouvrement des coûts d'investissements en place aux États-Unis. La période d'amortissement de la machinerie et de l'équipement y est généralement plus brève qu'au Canada[11]. Un autre facteur qui joue en ce sens est le taux d'imposition plus faible aux États-Unis (il y est en moyenne, dans tous les États, de 40,4 %, tandis que le taux d'imposition combiné (fédéral et provincial) se situe au Canada entre 42 et 43 %).

Tableau 8
TAUX MARGINAUX EFFECTIFS DE TAXATION DU CAPITAL AUX ÉTATS-UNIS

	Train	Autocar	Avion
	(%)		
Paramétrage			
Pourcentage des capitaux empruntés par rapport à l'ensemble du financement	43	43	43
Pourcentage des capitaux propres par rapport à l'ensemble du financement	57	57	57
Rendement nominal des capitaux empruntés	12	12	12
Rendement nominal des capitaux propres	20	20	20
Taux d'inflation	5	5	5
Taux effectifs de taxation des immobilisations			
Construction immobilière	37,5	37,5	41,6
Travaux de génie civil	37,5	37,5	37,5
Machinerie et équipement	9,2	s/o	14,2
Autocars	s/o	22,1	s/o
Biens immobilisés portés à un compte de frais	–0,9	–0,9	–0,9
Taux global (t_k)	28,5	25,1	19,5

Au tableau 9 figurent les chiffres estimatifs des taux marginaux effectifs de taxation du travail, t_l, pour le travailleur moyen et pour chaque mode. Comme dans la section précédente, t_l représente une moyenne pondérée des données sur l'emploi dans chaque industrie. Les taux sont très voisins pour tous les modes (9,5 %, 9,5 % et 9,2 % pour le train, l'autocar et l'avion, respectivement). Comme c'est le cas au Canada, les écarts sont attribuables uniquement aux variations dans la composition de la main-d'oeuvre des divers modes. Dans l'ensemble, les taux américains des charges sociales sont supérieurs d'environ cinq points aux nôtres de sorte que, sur ce plan, les sociétés canadiennes jouissent d'un avantage.

Tableau 9
TAUX MARGINAUX EFFECTIFS DE TAXATION DU TRAVAIL AUX ÉTATS-UNIS (%)
(MOYENNE PONDÉRÉE)

Train	Autocar	Avion
9,5	9,5	9,2

Au tableau 10 figurent les taux marginaux effectifs t_f de taxation du carburant acheté au détail pour chacun des modes de transport. C'est l'industrie de l'autocar qui est la plus lourdement taxée à cet égard : 44,7 %, par rapport à

8,6 % pour le secteur ferroviaire et à 5,6 % pour l'industrie aérienne. Comparativement aux entreprises canadiennes, leurs homologues américaines des trois modes jouissent d'un important avantage du point de vue de la taxe sur le carburant[12]. Fait à mentionner, cette comparaison peut être trompeuse du fait qu'il n'a pas été tenu compte des écarts dans les taux d'occupation ni des distances parcourues par les autocars canadiens. Les entreprises américaines jouissent d'un marché plus populeux et possédant plus de dimensions que celui de leurs pendants canadiens.

Tableau 10
TAUX MARGINAUX EFFECTIFS DE TAXATION DU CARBURANT AUX ÉTATS-UNIS (%) (PONDÉRÉE)

Train	Autocar	Avion
8,6	44,7	5,6

Aux tableaux 11 et 12 figurent les chiffres estimatifs des taux effectifs de taxation T liés aux coûts marginaux de production, pour tous les modes aux États-Unis. Comme dans le cas du Canada, T est calculé d'après une fonction de coûts Cobb-Douglas (C-D) à des rendements d'échelle constants qui permet de trouver la valeur de T en pondérant les t_i, i =k, l, f, par leurs parts respectives des coûts totaux. Les parts d'intrants employés ici dans les calculs sont les mêmes que pour le Canada. Comme le montrent les chiffres, le secteur aérien jouit d'un avantage concurrentiel par rapport à l'autocar et au train, tout comme ce dernier par rapport à l'autocar. Cet état de choses traduit le traitement préférentiel dont fait l'objet le capital et le carburant dans le secteur aérien américain, ainsi que le carburant dans le secteur ferroviaire américain relativement à l'industrie de l'autocar.

Si l'on compare la situation de chaque mode américain avec leurs pendants canadiens, les calculs montrent que le taux effectif de taxation lié aux coûts marginaux américains est inférieur pour tous les modes. Dans le secteur aérien, les taux américains sont moindres que ceux du Canada d'environ cinq points (14,0 % aux États-Unis contre 19,3 % au Canada). Cela est attribuable au fait qu'aux États-Unis la taxe sur le carburant est sensiblement plus basse et que l'impôt sur le capital y est moins élevé. En dépit du niveau sensiblement plus élevé de la taxe sur le carburant au Canada pour le secteur ferroviaire et l'industrie de l'autocar, les taux effectifs de taxation liés aux coûts marginaux sont très voisins pour les deux pays. Étant donné la

part peu importante du carburant à titre d'intrant dans ces deux secteurs, le vaste écart entre les taux de taxation du carburant dans les deux pays n'a que peu d'incidence sur les taux de taxation effectifs liés aux coûts marginaux. Par rapport à leurs pendants américains, les entreprises canadiennes de transport jouissent d'un avantage, sur le plan de la taxation, uniquement à l'égard de l'intrant travail.

Tableau 11

ÉTATS-UNIS — TAUX EFFECTIFS DE TAXATION LIÉS AU COÛTS MARGINAUX ET TAUX MARGINAUX EFFECTIFS DE TAXATION DES INTRANTS (PARTS DE RÉFÉRENCE DES INTRANTS)

		Train	Autocar	Avion
		(%)		
Paramétrage				
Pourcentage des capitaux empruntés par rapport à l'ensemble du financement	(β)	43	43	43
Pourcentage des capitaux propres par rapport à l'ensemble du financement	($1 - \beta$)	57	57	57
Rendement nominal des capitaux empruntés	(i)	12	12	12
Rendement nominal des capitaux propres	(ρ)	20	20	20
Taux d'inflation	(π)	5	5	5
Parts des intrants				
Travail	(α_l)	41,1	42,5	27,4
Carburant	(α_f)	8,6	8,4	18,1
Capital	(α_k)	50,3	49,1	54,5
Taux marginaux effectifs de taxation				
Travail	(t_l)	9,5	9,5	9,2
Carburant	(t_f)	8,6	44,7	5,6
Capital	(t_k)	28,5	25,1	19,5
Taux effectif de taxation lié aux coûts marginaux	(T)	18,6	19,7	14,0

Comme on l'a fait dans la partie précédente pour savoir en quoi diverses répartitions des parts d'intrants pouvaient modifier l'incidence de la taxation américaine sur les coûts marginaux de production, nous avons fait une autre expérience en maintenant constants tous les autres paramètres. Les parts d'intrants sont rajustées en conséquence. Les résultats de cette expérience sont résumés au tableau 12. Contrairement à ce qui s'est passé dans le cas du Canada, le classement des modes d'après leurs taux effectifs de taxation liés aux coûts marginaux ne varie pas suivant la modification mentionnée dans la répartition des parts d'intrants : selon ces deux répartitions,

l'industrie de l'autocar a le T le plus élevé, suivie du secteur ferroviaire puis de l'industrie aérienne.

Suivant la répartition modifiée des parts d'intrants, l'écart entre les deux pays quant aux taux effectifs de taxation liés aux coûts marginaux est inférieur à deux points pour le secteur ferroviaire et l'industrie de l'autocar. Dans le cas du secteur aérien, l'avantage concurrentiel des États-Unis a augmenté d'un point.

Tableau 12
ÉTATS-UNIS — TAUX EFFECTIFS DE TAXATION LIÉS AU COÛTS MARGINAUX ET TAUX MARGINAUX EFFECTIFS DE TAXATION DES INTRANTS (PARTS MODIFIÉES DES INTRANTS)

		Train	Autocar	Avion
		(%)		
Paramétrage				
Pourcentage des capitaux empruntés par rapport à l'ensemble du financement	(β)	43	43	43
Pourcentage des capitaux propres par rapport à l'ensemble du financement	($1-\beta$)	57	57	57
Rendement nominal des capitaux empruntés	(i)	12	12	12
Rendement nominal des capitaux propres	(ρ)	20	20	20
Taux d'inflation	(π)	5	5	5
Parts des intrants				
Travail	(α_l)	56	40	30
Carburant	(α_f)	10	16	22
Capital	(α_k)	34	44	48
Taux marginaux effectifs de taxation				
Labour	(t_l)	9,5	9,5	9,2
Carburant	(t_f)	8,6	44,7	5,6
Capital	(t_k)	28,5	25,1	19,5
Taux effectif de taxation lié aux coûts marginaux	(T)	15,5	21,4	13,2

Somme toute (quelle que soit la répartition des parts d'intrants que l'on retienne), le régime canadien de taxation crée globalement aux entreprises de transport canadiennes un désavantage concurrentiel sur leurs pendants américains, notamment dans le secteur aérien. Bien que le taux effectif des charges sociales soit sensiblement plus bas au Canada, il en est de même aux États-Unis du taux effectif de la taxe sur le carburant, et cela, pour tous les modes. Les taux effectifs de taxation du capital sont légèrement inférieurs pour tous les modes aux États-Unis.

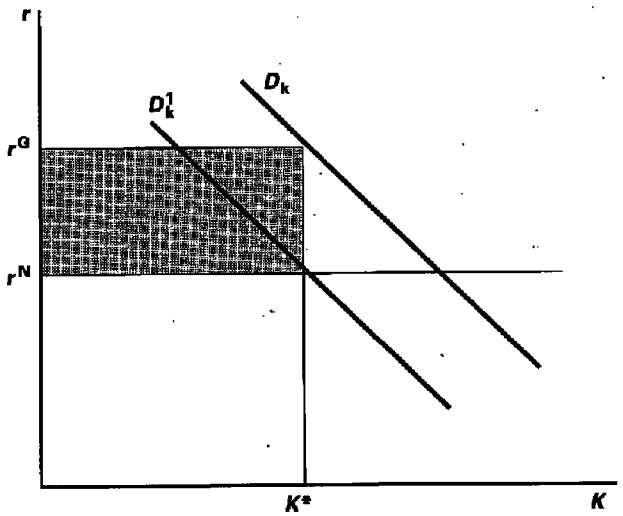
ANNEXE A : CALCUL DES TAUX EFFECTIFS DE TAXATION

La présente annexe vise à exposer de façon plus détaillée la méthode mentionnée dans la section 2. Nous verrons d'abord les formules permettant d'établir les taux marginaux effectifs de taxation de trois intrants du processus de production : le capital, le travail et le carburant (t_k, t_l et t_f, respectivement). Nous examinerons par la suite comment exprimer le taux effectif de taxation lié aux coûts marginaux de production (T).

A.1 LES TAUX MARGINAUX EFFECTIFS DE TAXATION DU CAPITAL

La méthode s'apparente de près à celle de Boadway, Bruce et Mintz (1987). On suppose que le taux d'intérêt ne varie pas avec les changements apportés à la politique fiscale intérieure. Cela est compatible avec l'hypothèse d'une petite économie ouverte selon laquelle le taux de rendement après impôt requis par les investisseurs est déterminé par le marché financier mondial. Le diagramme présenté à la figure 2 illustre cette situation. Les bailleurs de fonds du pays doivent toucher r^N, soit le taux d'intérêt mondial après impôt, sinon ils investissent ailleurs. D_k représente les prévisions de la demande de capital, illustrant les rapports entre le taux de rendement avant impôt et la quantité de capital demandé K, tandis que D_k^1 désigne les rapports entre le taux de rendement après impôt du capital et la quantité de capital demandé. Le point d'intersection de D_k^1 et de r^N permet de déterminer la quantité de capital d'équilibre K^*. Les bailleurs de fonds touchent le taux de rendement après impôt r^N, tandis que les utilisateurs des capitaux doivent payer un montant égal à r^G. En revanche, cela doit être égal au rendement marginal des investissements d'une entreprise. L'écart entre r^G et r^N est une composante fiscale créé par des instruments fiscaux qui influent sur le coût d'utilisation des capitaux. Cette composante, que l'on suppose nette d'amortissement et exprimée en valeur réelle, peut être convertie en un taux en la divisant par le taux de rendement réel après impôt, versé au bailleur de fonds. Ce taux, exprimé par t_k, se définit comme étant le taux marginal effectif de taxation du capital. Dans l'exposé qui suit, la valeur de r^N et de r^G sera déterminée et utilisée pour trouver $t_k = (r^G - r^N)/r^N$.

Figure 2
LE MARCHÉ FINANCIER



Avant d'entreprendre cet exposé, il y a lieu d'établir une importante distinction concernant la nature économique du capital. Celui-ci procure des services échelonnés sur une certaine période et il se déprécie, ou s'épuise physiquement, avec le temps : les services procurés par le capital ou par les immobilisations proviennent du stock même de celles-ci, tandis que la valeur du stock même diminue. Cette distinction est cruciale dans l'analyse des effets qu'ont les taxes sur le coût des immobilisations pour l'utilisateur étant donné que le régime fiscal influe sur le coût des services offerts par les immobilisations et sur celui de l'amortissement, et cela, de différentes manières : ces services sont touchés par la déductibilité des intérêts que comportent le régime fédéral et provinciaux d'imposition du revenu des sociétés, tandis que l'amortissement varie suivant les dispositions relatives à la déduction pour amortissement (DPA).

Si une entreprise soucieuse de minimiser ses coûts décide de faire un investissement marginal, la théorie néo-classique veut que le rendement avant impôt de cet investissement soit égal à ce qu'on appelle le coût d'utilisation du capital de placement, qui comporte deux éléments pour l'utilisateur : le coût de financement des services fournis par les immobilisations et le coût de l'amortissement. En conséquence, le coût d'utilisation des immobilisations peut varier à la fois en raison des taxes qui influent directement sur le coût du financement et des dispositions fiscales en matière d'amortissement.

Dans les paragraphes qui suivent, nous déterminerons le coût du financement des services fournis à l'utilisateur par les immobilisations, et le coût de l'amortissement pour ce dernier, pour ensuite les combiner en vue de pouvoir exprimer le coût d'utilisation r^G du capital.

Le coût du financement des services fournis par les immobilisations à l'utilisateur dépend de la structure financière de l'entreprise. Celle-ci peut décider de se financer à la fois au moyen de capitaux empruntés — émission de titres ou emprunts purs et simples — et de capitaux propres — réinvestissement des bénéfices ou émission de nouvelles actions. Le coût réel des capitaux empruntés est le taux d'intérêt nominal corrigé en fonction de l'inflation, tandis que le coût réel des capitaux propres est le rendement nominal de ceux-ci corrigé en fonction de l'inflation et du risque.

L'impôt sur les sociétés influe directement sur le coût réel des capitaux empruntés en raison des dispositions permettant de déduire les intérêts, tandis que le coût des capitaux propres n'est pas déductible. Dans une petite économie ouverte, la différence au niveau de l'impôt personnel relatif aux emprunts et aux actions n'influe pas sur le coût du capital pour l'entreprise et il n'est pas nécessaire de tenir compte de l'impôt personnel dans ce qui suit.

Le coût avant impôt du capital de financement pour l'entreprise utilisatrice peut s'exprimer ainsi. Si l'on définit :

r^F = coût réel avant impôt du financement pour l'entreprise utilisatrice
r^D = coût réel avant impôt des capitaux empruntés pour l'entreprise utilisatrice
r^E = coût réel avant impôt des capitaux propres pour l'entreprise utilisatrice
β = pourcentage des capitaux empruntés dans le financement des services fournis par les immobilisations
$(1 - \beta)$ = pourcentage des capitaux propres dans le financement des services fournis par les immobilisations
i = taux d'intérêt nominal
U^c = taux d'imposition des sociétés
ρ = rendement nominal des capitaux propres
π = taux d'inflation

Le coût réel avant impôt du financement pour la société peut s'exprimer ainsi :

$$r^F = \beta r^D + (1 - \beta) r^E \tag{2}$$

où

$$r^D = i(1 - U^c) - \pi \tag{3}$$

et

$$r^E = \rho - \pi \tag{4}$$

En conséquence :

$$r^F = \beta i(1 - U^c) + (1 - \beta)\rho - \pi \tag{5}$$

En corollaire, notons que le taux réel de rendement r^N requis par les bailleurs de fonds est simplement $r^N = \beta i + (1 - \beta)\rho - \pi$. Cette expression constitue le premier terme nécessaire pour calculer la valeur de t_k.

Le deuxième élément du coût des immobilisations pour l'entreprise utilisatrice est le coût de l'amortissement pour celle-ci. Comme on l'a vu plus haut, les stocks d'immobilisations perdent de la valeur avec le temps parce qu'ils s'usent. Leurs valeurs peuvent également augmenter ou diminuer avec le temps par suite de fluctuations dans le prix relatif des biens d'investissement, ce qui diffère du taux d'inflation. La combinaison de ces deux caractéristiques des stocks d'immobilisations donne le taux d'amortissement économique. Si $\dot{q}$ est égal au changement réel de la valeur du stock d'immobilisations et que δ est égal au taux physique d'amortissement, le taux d'amortissement économique s'exprime donc ainsi : $\delta^e = \delta - \dot{q}$ (dans les calculs qui suivent, $\dot{q} = 0$). Supposons maintenant que la déduction pour amortissement permise correspond à un taux constant dégressif égal à d, si l'on ne tient pas compte pour l'instant de la règle de la demi-année prévue dans le régime fiscal canadien. La valeur actuelle de la déduction pour amortissement pour l'entreprise est donc :

$$Z = \frac{U^c d}{r^F + \pi + d} \tag{6}$$

Dans chaque période, le taux de DPA multiplié par le taux d'imposition des sociétés est permis à titre de déduction. Si l'on tient compte du fait que la valeur du stock d'immobilisations est réduite durant chaque période du taux de DPA et que l'on suppose que le fisc fonde les déductions pour amortissement sur le coût historique non corrigé en fonction de l'inflation, et si les taux de DPA sont actualisés du coût réel du financement pour l'entreprise[13], le coût réel global avant impôt des services fournis par les immobilisations peut donc s'exprimer ainsi : $(r^F + \delta^e)(1 - Z)$. À la marge, ce coût réel doit être égal au coût après impôt auquel le bien pourrait être loué pour son usage de second rang optimal, et il doit être suffisamment élevé pour couvrir l'amortissement économique et les taxes. Si l'on définit $R^G(1 - U^c)$ comme étant le rendement marginal du capital après impôt, ce rendement avant impôt s'exprime donc ainsi : $R^G = (r^F + \delta^e)(1 - Z)/(1 - U^c)$. Puisque R^G comprend l'amortissement et que le rendement après amortissement requis sur l'investissement marginal est ce que nous voulons trouver, le taux d'amortissement économique doit être soustrait de R^G si l'on veut obtenir r^G. L'expression de r^G peut donc se résumer ainsi :

$$r^G = (r^F + \delta^e)(1 - Z)/(1 - U^c) - \delta^e \qquad (7)$$

Nous disposons donc maintenant de tous les renseignements nécessaires pour exprimer le taux marginal effectif de taxation du capital t_k, qui peut s'exprimer explicitement de la manière suivante :

$$t_k = \frac{(r^F + \delta^e)(1 - Z)/(1 - U^c) - \delta^e - r^N}{r^N} \qquad (8)$$

A.2 LE TAUX MARGINAL EFFECTIF DE TAXATION DU TRAVAIL

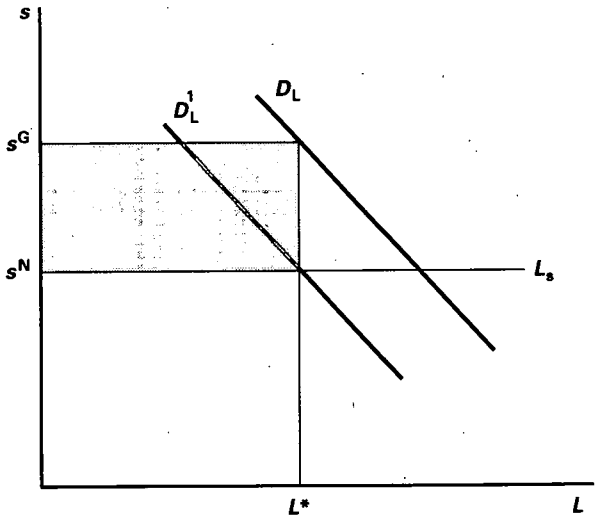
Pour calculer t_l, il faut poser pour hypothèse que, pour un secteur particulier, l'élasticité de l'offre de main-d'oeuvre est infinie, c'est-à-dire que la courbe L_s de l'offre, dans la figure 3, est tout à fait horizontale[14]. La courbe de la demande de main-d'oeuvre avant impôt dans le secteur des transports est descendante, comme le montre D_L, à la figure 3. D_L décrit les rapports qui existent entre la demande de main-d'oeuvre et les salaires avant impôt, s^G. Puisque les charges sociales diffèrent d'après le type de travailleur (niveau de revenu), la facture de ces charges dépend de la composition de l'effectif. Celle-ci est considérée comme constante pour les besoins de la présente analyse.

D_L^1 montre les rapports qui existent entre les salaires après impôt, s^N et la demande de main-d'oeuvre. L'écart entre s^G et s^N est l'avantage fiscal imposé sur le travail. Étant donné l'hypothèse que la courbe de l'offre de main-d'oeuvre est parfaitement élastique dans un secteur particulier et l'impossibilité de tenir compte comme il se doit de la possibilité que les charges sociales puissent être considérées comme des taxes-services, l'entreprise assume intégralement tout impôt ou taxe perçus sur les salaires.

Par suite de cette interprétation, le taux marginal effectif de taxation du travail s'exprime simplement ainsi :

$$t_l = \frac{(s^G - s^N)}{s^N} \tag{9}$$

Figure 3
LE MARCHÉ DU TRAVAIL



A.3 LE TAUX MARGINAL EFFECTIF DE TAXATION DU CARBURANT

Il est supposé que chaque entreprise doit composer avec une courbe horizontale d'offre de carburant. Les taux marginaux effectifs de taxation de cet intrant correspondent alors simplement aux taux d'imposition *ad valorem* équivalents prévus par la loi.

A.4 LE TAUX EFFECTIF DE TAXATION LIÉ AUX COUTS MARGINAUX

Dans la présente section, nous exposerons la méthode employée pour calculer le taux effectif de taxation lié aux coûts marginaux de production pour certains taux marginaux effectifs de taxation de certains intrants, et nous mentionnerons les principales difficultés méthodologiques que pose essentiellement toute étude sur les coûts.

Suivant la théorie économique, le coût $C(\mathbf{y}, \mathbf{w}')$ se définit comme étant la fonction de la valeur minimum dans le problème suivant :

$$\min_{\mathbf{x}} \ \mathbf{w}'\mathbf{x} \ \ s.t. \ \ f(\mathbf{x}) = \mathbf{y} \tag{10}$$

où $\mathbf{y}$ est le vecteur des extrants et $\mathbf{x}$ celui des intrants, où $f(\mathbf{x})$ représente les techniques et où $\mathbf{w}'$ est le vecteur du facteur prix des intrants à l'utilisateur. À ce titre, $C(\mathbf{y}, \mathbf{w}')$ peut s'exprimer en $C(\mathbf{y}, \mathbf{w}') = \mathbf{w}'\mathbf{x}^*$, où $\mathbf{x}^*$ représente les quantités optimales d'intrants et dépend du vecteur des extrants et de celui des prix des intrants à l'utilisateur. Ces derniers prix comprennent tous les coûts d'opportunité associés aux intrants facteurs. En règle générale, $\mathbf{w}'$ dépendra des prix du marché $\mathbf{w}$ des facteurs de production des intrants, et du vecteur $\mathbf{t}$ des taux marginaux effectifs de taxation des intrants.

En l'absence de taxes et impôts, $\mathbf{w}' = \mathbf{w}$ et le coût supplémentaire, ou marginal, de production d'une unité additionnelle de type i s'exprime ainsi :

$$MC_i(\mathbf{y}, \mathbf{w}) = \frac{\partial C(\mathbf{y}, \mathbf{w})}{\partial y_i} \tag{11}$$

Si l'on tient compte des taxes sur les intrants, $\mathbf{w}' = \mathbf{w}(1 + t)$. Le coût marginal de production d'une unité supplémentaire de type i est $MC_i[\mathbf{y}, \mathbf{w}(1 + t)]$.

La différence entre $MC_i[\mathbf{y}, \mathbf{w}(1 + t)]$ et $MC_i(\mathbf{y}, \mathbf{w})$ peut être considérée comme la composante constituée par l'écart entre les coûts marginaux avant et après impôt pour produire une unité de type *i*. La composante dépend de *t* et de la forme fonctionnelle employée pour représenter *C*. Elle peut être convertie en taux en la divisant par $MC_i(\mathbf{y}, \mathbf{w})$. On obtient ainsi le taux marginal de taxation lié aux coûts marginaux de production (T). T sert à mesurer le taux effectif de taxation lié au coût marginal de la prestation de services de transport. Les modes de transport qui sont soumis à un taux relatif de taxation plus élevé que les autres s'en trouvent désavantagés sur le plan de la concurrence.

Cette observation fournit une description très générale de la méthode employée dans la présente étude. La prochaine étape consistera à examiner le traitement des coûts par le menu; à cet égard, nous commencerons par préciser la nature des produits des transporteurs, puis nous examinerons les formes fonctionnelles qui pourront être utilisées pour estimer la valeur de *T* pour chacun des modes d'un même pays ou pour un même mode d'un pays à l'autre.

Produits des transporteurs

Les services voyageurs diffèrent suivant certaines caractéristiques telles la vitesse du moyen de transport, la qualité du service, etc.; cela revient à la prestation de divers services ou produits par un transporteur sur le même trajet. En effet, il y a bel et bien plus d'un produit et le nombre de ceux-ci dépend des définitions attribuées aux divers services. L'analyse de services voyageurs multiples déborde le cadre du présent document. On énonce l'hypothèse que chaque transporteur produit un seul service voyageurs homogène dont la définition est comparable d'un mode à l'autre.

Formes fonctionnelles

Notre analyse portera sur trois types d'intrants employés dans le processus de production, soit le capital, le travail et le carburant, et repose sur l'hypothèse que les entreprises tentent de combiner ces intrants de manière à minimiser ce qu'il en coûte pour atteindre un certain niveau de production. Le rapport entre les prix d'utilisation et le coût de production est appelé fonction de coût. La forme particulière de la fonction de coût peut faire l'objet d'une estimation économétrique pour laquelle on recourt aux données existantes pour trouver la structure sous-jacente des techniques, et il est alors possible de tirer des conclusions touchant les paramètres précis délimitant le comportement d'un agent. Puisqu'une estimation économétrique déborde le cadre du présent document, la forme fonctionnelle à employer pour représenter les coûts doit être précisée de façon exogène, et l'information paramétrique doit être dérivée de données existantes et d'études antérieures.

Les exigences en matière de renseignements et les restrictions auxquelles fait face la présente étude sont examinées à l'égard de trois types de formes fonctionnelles, de la fonction de coût Cobb-Douglas (C-D) et de celle de l'élasticité constante de substitution (dont la fonction Cobb-Douglas est un cas particulier). Les renseignements nécessaires à l'utilisation de formes fonctionnelles souples sont en outre examinés brièvement.

La fonction de coût Cobb-Douglas (C-D)

Pour les intrants *i*, (*i* = le capital (K), le travail (L) et le carburant (F)), la fonction de coût Cobb-Douglas s'exprime ainsi :

$$C(y, \boldsymbol{w}') = Ay^{\frac{1}{\eta}} \prod_i (w_i')^{\alpha i} \tag{12}$$

où $\sum_i \alpha_i = 1$ et où η représente l'élasticité de l'échelle. La technologie sous-jacente est homothétique et accuse des rendements d'échelle croissant, décroissant et constant, respectivement pour $\eta > 1$, $\eta < 1$ et $\eta = 1$. Les élasticités de substitution ($\sigma_{ij} = C_{ij}C/C_iC_j$) d'Allen-Uzawa sont égales à 1 pour toutes les paires d'intrants des facteurs de production : cela signifie que les parts des valeurs sont constantes pour tous les intrants (elles sont représentées par les valeurs de α).

Le coût marginal d'une unité supplémentaire de production s'exprime ainsi :

$$\text{MC} = \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{1}{\eta} Ay^{\frac{1-\eta}{\eta}} \prod_i (w_i')^{\alpha i} \tag{13}$$

Étant donné les valeurs exogènes $N+1$ pour les demandes conditionnelles et le coût marginal, tous les paramètres libres $N+1$ peuvent être trouvés.

T peut alors être obtenu de la manière suivante :

$$T = \frac{\frac{1}{\eta} Ay^{\frac{1-\eta}{\eta}} \left[\prod_i (w_i')^{\alpha i} - \prod_i (w_i)^{\alpha i} \right]}{\frac{1}{\eta} Ay^{\frac{1-\eta}{\eta}} \prod_i (w_i)^{\alpha i}} \tag{14}$$

Puis cette équation peut se simplifier de la manière suivante :

$$T = \prod_i (1 + t_i)^{\alpha i} - 1 \tag{15}$$

La fonction de coût de l'élasticité constante de substitution (ECS)

La fonction de coût de l'ECS se définit ainsi :

$$C(y, \boldsymbol{w}') = Ay^{\frac{1}{\eta}}\left[\sum_i \alpha_i (w_i')^{1-\sigma}\right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \tag{16}$$

où $\sum_i \alpha_i = 1$, η représente l'élasticité de l'échelle et $\sigma \neq 1$. La technologie sous-jacente est homothétique. Les élasticités de substitution d'Allen-Uzawa sont égales à σ pour toutes les paires d'intrants des facteurs de production.

Il faut alors définir l'expression suivante :

$$V(\boldsymbol{w}') = \left[\sum_i \alpha_i (w_i')^{1-\sigma}\right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \tag{17}$$

(Il est à noter que cette expression vaut également pour la fonction de coût Cobb-Douglas si $\sigma = 1$ et $V(\boldsymbol{w}') = \prod_i (w_i')^{\alpha_i}$.)

Le coût marginal d'une unité supplémentaire de production est le suivant :

$$\text{MC} = \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{1}{\eta} Ay^{\frac{1-\eta}{\eta}} V(\boldsymbol{w}') \tag{18}$$

Étant donné les valeurs exogènes $N + 1$ pour les demandes conditionnelles et le coût marginal, et l'estimation exogène pour σ, les paramètres libres résiduels $N + 1$ peuvent être trouvés.

T peut alors être obtenu par l'expression suivante :

$$T = \frac{\frac{1}{\eta} Ay^{\frac{1-\eta}{\eta}} [V(\boldsymbol{w}') - V(\boldsymbol{w}')]}{\frac{1}{\eta} Ay^{\frac{1-\eta}{\eta}} V(\boldsymbol{w})} = \frac{\sum_i \alpha_i (w_i')^{1-\sigma}}{\sum_i \alpha_i (w_i)^{1-\sigma}} - 1 \tag{19}$$

Les formes fonctionnelles flexibles

Les formes fonctionnelles flexibles permettent de représenter toute configuration régulière des élasticités de substitution d'Allen-Uzawa. De plus, elles n'obligent pas à avoir une technologie homothétique. À titre d'exemple, mentionnons la fonction de coût généralisée de Leontief, la fonction de coût translog et la fonction non séparable de l'ECS.

Les renseignements nécessaires pour utiliser une forme flexible sont assez diversifiés : l'étalonnage nécessite des valeurs exogènes pour toutes les élasticités de substitution par paire, de même que des élasticités-dépenses pour la demande d'intrants (pour la fonction non homothétique) et l'élasticité de l'échelle.

Dans la présente étude, pour simplifier les choses, on a adopté une fonction de coût Cobb-Douglas reposant sur des techniques donnant un produit unique et les parts ont été tirées d'études antérieures.

ANNEXE B : TAUX DE TAXATION PRÉVUS DANS LA LOI ET DONNÉES DE CALCUL

La présente annexe contient un résumé des taxes et impôts visés par l'analyse. La section B.1 porte sur les dispositions fiscales qui ont une incidence sur le coût des immobilisations pour l'utilisateur, les taux fédéral et provinciaux d'imposition des sociétés qui influent sur le coût du financement des services fournis à l'utilisateur par les immobilisations ainsi que les déductions pour amortissement qui ont une incidence sur le coût de l'amortissement pour l'utilisateur. On y décrit également les coefficients de pondération qui ont servi à l'agrégation des immobilisations amortissables, ainsi qu'un résumé de la durée de vie des immobilisations et des taux chronologiques équivalents d'amortissement. Dans les sections B.2 et B.3 sont examinées et présentées sous forme de tableaux les taxes qui influent respectivement sur le travail et sur le carburant.

B.1 TAXES ET COEFFICIENTS DE PONDÉRATION RELATIFS AUX IMMOBILISATIONS

B.1.1 Taux d'imposition des sociétés

Taux fédéral d'imposition des sociétés (TFIS) : L'impôt fédéral sur le revenu des sociétés est perçu au taux uniforme de 38 % depuis le 1er juillet 1988.

Abattement fédéral : Toute société résidente canadienne, à l'exception des sociétés d'État fédérales[15], est admissible à un abattement de l'impôt fédéral à payer, ce qui allège l'impôt qu'elle doit verser à la province concernée. Cet abattement est égal à 10 % du revenu imposable gagné par une société dans une province. La définition de revenu imposable gagné dans une province varie suivant les modes de transport étant donné que les sociétés de transport sont traitées différemment des autres dans la Loi. Cet aspect sera analysé plus en profondeur lorsqu'on examinera les effets de l'impôt des sociétés sur le coût du financement des immobilisations pour chaque mode.

Surtaxe fédérale : Depuis 1987, une surtaxe fédérale de 3 % est perçue sur l'impôt à payer au gouvernement fédéral. L'abattement de 10 % est déduit de l'impôt payable par ailleurs dans le calcul de la surtaxe fédérale, mais il est calculé sur l'ensemble du revenu imposable gagné par une société durant l'année. Toutes les sociétés, à l'exception des sociétés d'État, sont admissibles à la réduction de 10 % au niveau du TFIS.

Au tableau 13 figurent les taux fédéraux d'imposition des diverses catégories d'entreprises. Les industries des services de transport sont soumises au taux général des entreprises, à moins d'être admissibles à la déduction accordée aux petites entreprises; cette possibilité a cependant été écartée dans la présente analyse. Les taux d'imposition susmentionnés comprennent la réduction de 10 % du taux de base pour l'impôt provincial.

Tableau 13
TAUX FÉDÉRAUX D'IMPOSITION DES SOCIÉTÉS, 1991

	Taux d'imposition	Surtaxe	Taux global
	%		
À compter du 1er juillet			
Taux général des entreprises	28,00	3,00	28,84
Fabrication et transformation	23,00	3,00	23,84
Taux général des petites entreprises	12,00	3,00	12,84
Petites entreprises fabrication et transformation	12,00	3,00	12,84
Pour l'année civile			
Taux général des entreprises	28,00	3,00	28,84
Fabrication et transformation	23,50	3,00	24,34
Taux général des petites entreprises	12,00	3,00	12,84
Petites entreprises fabrication et transformation	12,00	3,00	12,84

Source : Publications de l'Association canadienne d'études fiscales.

Taux provinciaux d'imposition des sociétés : Les provinces canadiennes peuvent percevoir des impôts des sociétés qui ont un établissement permanent dans leur territoire. Le tableau 14 est un résumé des taux provinciaux d'imposition des sociétés pour 1991[16]. Le gouvernement fédéral a conclu avec la majorité des provinces un accord l'autorisant à percevoir en leur nom l'impôt provincial sur le revenu des sociétés, en échange de leur assentiment l'autorisant à utiliser la même assiette fiscale[17]. Si une corporation ou société a un établissement permanent dans une seule province, celle-ci applique alors son propre taux d'imposition au revenu imposable global de cette société. Si elle a un établissement permanent dans plus d'une province, le revenu imposable attribué à chaque province est alors calculé selon des règles de répartition[18]. Pour la plupart des sociétés, ces règles prévoient que la proportion du revenu imposable attribué à une province est une moyenne quelconque de la proportion du revenu brut gagné dans

Tableau 14

TAUX PROVINCIAUX D'IMPOSITION DES SOCIÉTÉS, 1991

Province	Petites entreprises	Grandes entreprises
	%	
Terre-Neuve	0/10	17
Île-du-Prince-Édouard	10	15
Nouvelle-Écosse	0/10	16
Nouveau-Brunswick	5/9	17
Québec	0/3,75	6,90/16,25
Ontario	0/10	14,5/15,5
Manitoba	10	17
Saskatchewan	0/10	15
Alberta	6	15,5
Colombie-Britannique	9	15
Yukon	2,5/5	2,5/10
Territoires du Nord-Ouest	5	12

Sources : **Publications de l'Association canadienne d'études fiscales et Arthur Andersen & Co., *Tax Forum*, vol. 3, juin 1991.**

Nota : **Dans les cas où il y a deux chiffres, le premier vaut pour les entreprises qui ont droit à un traitement fiscal privilégié.**

cette province par rapport au revenu brut total gagné au Canada, et de la proportion des traitements et salaires payés dans cette province par rapport au total des traitements et salaires payés au Canada. Cependant, le traitement fiscal de l'industrie des transports est différent pour chaque mode d'après la *Loi de l'impôt sur le revenu*. Voici les règles de répartition entre les provinces du revenu imposable des sociétés des secteurs ferroviaire et aérien et des sociétés d'autocar :

- Secteur ferroviaire

Le revenu imposable gagné par une société ferroviaire dans une province où elle a un établissement permanent se définit comme la moitié de l'ensemble de la proportion de son revenu imposable que le nombre ajusté de milles de voie[19] dans une province représente par rapport au nombre ajusté de milles de voie au Canada; et, de la proportion de son revenu imposable que les tonnes-milles brutes dans cette province représentent par rapport aux tonnes-milles brutes au Canada[20].

- Autocar

Le revenu imposable gagné par une entreprise d'autocar dans une province où elle a un établissement permanent se définit comme la moitié de l'ensemble de la proportion de son revenu imposable que représente le kilométrage des véhicules que loue la société ou qui lui appartiennent, dans cette province, par rapport au kilométrage total de ses véhicules au Canada; et de la proportion du revenu imposable que l'ensemble des traitements et salaires versés par elle dans cette province représente par rapport à l'ensemble des traitements et salaires qu'elle verse au Canada[21].

- Secteur aérien

Le revenu imposable gagné par une société aérienne dans une province où elle a un établissement permanent se définit comme le quart de l'ensemble de la proportion de son revenu imposable que le coût en capital de ses immobilisations, sauf les aéronefs, dans cette province représente par rapport au coût en capital de toutes ses immobilisations, sauf les aéronefs, au Canada; et, de la proportion de son revenu imposable que trois fois le nombre de milles de vol payant parcourus par ses aéronefs dans la province par rapport au nombre total de milles de vol payant parcourus par ses aéronefs au Canada[22].

En résumé, les dispositions fiscales qui influent sur le coût réel des capitaux empruntés sont les suivantes : l'impôt fédéral des sociétés, l'abattement fédéral sur l'impôt provincial, la surtaxe fédérale, l'impôt provincial des sociétés et les règles servant à déterminer le revenu imposable gagné dans une province. Dans la mesure où l'un ou l'autre de ces éléments diffère d'un mode à l'autre, le coût réel du financement par emprunt différera également entre les modes. Cela influera ensuite sur le coût réel du financement pour les divers modes de transport. Au tableau 15 figurent les taux fédéral et provinciaux combinés d'imposition des petites entreprises et des autres types d'établissement, par province, tandis que le tableau 16 fait état des taux fédéral et provinciaux combinés d'imposition des sociétés ferroviaires et aériennes et des entreprises d'autocar, par province, compte tenu des règles prévues pour calculer le revenu imposable gagné dans une province. Somme toute, les taux arrondis combinés d'imposition sont très voisins d'un mode à l'autre : l'industrie de l'autocar jouit du taux le plus bas, soit 42 %, suivie de près par les secteurs aérien et ferroviaire à 43 %.

Tableau 15

TAUX FÉDÉRAL ET PROVINCIAUX COMBINÉS D'IMPOSITION DES SOCIÉTÉS, PAR PROVINCE, 1991

Province	Petites entreprises	Grandes entreprises
	%	
Terre-Neuve	22,84	45,84
Île-du-Prince-Édouard	22,84	43,84
Nouvelle-Écosse	22,84	44,84
Nouveau-Brunswick	21,84	45,84
Québec	16,54	35,74
Ontario	22,84	44,34
Manitoba	22,84	45,84
Saskatchewan	22,84	43,84
Alberta	21,84	44,34
Colombie-Britannique	21,84	43,84
Yukon	17,84	38,84
Territoires du Nord-Ouest	17,84	40,84

Sources : **Publications de l'Association canadienne d'études fiscales et Arthur Andersen & Co., *Tax Forum*, vol. 3, juin 1991.**

Nota : **Au Québec, les grandes entreprises de transport sont soumises au taux d'imposition plus bas applicable aux grandes entreprises dans cette province.**

Tableau 16

TAUX FÉDÉRAL ET PROVINCIAUX COMBINÉS D'IMPOSITION DES SOCIÉTÉS, PAR PROVINCE, 1991

Province	Train	Autocar	Avion
	%		
Terre-Neuve	0,18	0,09	0,05
Île-du-Prince-Édouard	0,00	0,00	0,04
Nouvelle-Écosse	0,67	0,90	1,35
Nouveau-Brunswick	1,24	2,29	1,83
Québec	4,22	9,04	7,15
Ontario	15,34	17,87	16,85
Manitoba	3,94	1,19	1,83
Saskatchewan	5,00	0,75	1,75
Alberta	4,66	3,33	3,55
Colombie-Britannique	7,93	6,60	8,05
Total	**43,00**	**42,00**	**43,00**

B.1.2 Déductions pour amortissement

Les coûts d'immobilisations admissibles peuvent être déduits du revenu imposable. Ces déductions sont prévues dans la *Loi de l'impôt sur le revenu* et admises à l'égard des immobilisations amortissables. Pour les besoins de la fiscalité, les immobilisations sont regroupées en diverses catégories auxquelles est attribué un taux permettant de déduire le coût des immobilisations du revenu imposable. Un taux constant d'amortissement dégressif est utilisé pour la plupart des catégories d'immobilisations, bien que certaines soient soumises à la méthode d'amortissement linéaire. Selon la *Loi de l'impôt sur le revenu*, le taux de déduction pour amortissement s'applique au coût initial non amorti de l'immobilisation et, la première année d'imposition, le taux permis est de la moitié du taux appliqué les années suivantes[23]. Dans la présente section sont présentées les données qui ont servi à calculer la valeur actuelle de la déduction pour amortissement. Au tableau 17 figurent les catégories d'immobilisations prescrites dans la *Loi de l'impôt sur le revenu* et les taux correspondants de déduction pour amortissement. Ces catégories sont ensuite regroupées en cinq types d'immobilisations amortissables : construction immobilière, travaux de génie civil, machinerie et équipement, et biens immobilisés portés à un compte de frais. Ces catégories et les taux correspondants de DPA sont présentés par mode au tableau 18.

B.1.3 Impôts sur les immobilisations et impôts fonciers

Au Canada, les impôts sur les immobilisations et les impôts fonciers entrent dans l'équation du taux marginal effectif d'imposition du capital, comme facteur additif.

Impôts sur les immobilisations : Un impôt général sur les immobilisations est prélevé chaque année sur la valeur des immobilisations par le Québec, l'Ontario, le Manitoba et la Saskatchewan. Cet impôt est déductible de l'impôt à payer par les sociétés. Les taux pratiqués par chacune des provinces susmentionnées sont respectivement de 0,5 %, 0,3 %, 0,4 % et 0,25 %.

Impôts fonciers : Les auteurs de la présente étude n'ont pas tenu compte des impôts fonciers en raison de la difficulté à obtenir des données distinctes pour chacun des modes à l'étude.

Tableau 17

TAUX DE DÉDUCTION POUR AMORTISSEMENT PAR CATÉGORIE D'IMMOBILISATIONS

	Catégories	Taux (%)
Hangars d'avions	6	10
Aéronefs...		
mobilier, accessoires, équipement ou pièces de rechange	9	25
Pistes d'aéroport	1	4
Revêtement d'asphalte, faisceau de garage	1	4
Automobiles	10	30
Bâtiments...		
briques, pierres, ciment, etc. achetés après 1987	1	4
Autobus et autocars	10	30
Accessoires, aéronefs	9	25
Machinerie et équipement	8	20
Équipement radar	9	25
Véhicules ferroviaires	35	10
Locomotives	6	10
Réseau ferroviaire	4	6
Voies ferrées ou passages à niveau	1	10
Dispositifs de contrôle de la circulation ferroviaire et de signalisation	1	4
Routes	1	4
Pièces de rechange d'aéronefs	9	25

Source : Publications de l'Association canadienne d'études fiscales.

Tableau 18

TAUX DE DÉDUCTION POUR AMORTISSEMENT PAR TYPE D'IMMOBILISATIONS ET PAR MODE

	Train	Autocar	Avion
	%		
Construction immobilière	4	4	4
Travaux de génie civil	8	4	8
Autocars	s/o	30	s/o
Machinerie et équipement	10	s/o	25
Biens immobiliers portés à un compte de frais	100	100	100

B.1.4 Taux historiques d'amortissement et coefficients de pondération des immobilisations

Au tableau 19 figure un résumé des coefficients de pondération des dépenses en immobilisations par catégorie de biens; ces coefficients ont servi à regrouper les taux marginaux catégoriques effectifs d'imposition du capital en vue d'obtenir un taux global pour chaque mode[24]. Le tableau 20 fait état de la durée de vie[25] de chaque catégorie d'immobilisations, par mode, insi que des taux constants correspondants historiques d'amortissement dégressif qui y correspondent.

Tableau 19

RÉSUMÉ DES COEFFICIENTS DE PONDÉRATION DES DÉPENSES EN IMMOBILISATIONS

	Train	Autocar	Avion
	%		
Construction immobilière	6,0	19,1	19,1
Travaux de génie civil	62,3	1,1	1,1
Autocars	0,0	79,0	0,0
Machinerie et équipement	31,5	0,0	79,0
Biens immobiliers portés à un compte de frais	0,2	0,8	0,8
Total	**100,0**	**100,0**	**100,0**

Source : Publications de Statistique Canada.

Tableau 20

RÉSUMÉ DES DURÉES DE VIE ET DES TAUX CONSTANTS CORRESPONDANTS D'AMORTISSEMENT DÉGRESSIF

	Train		Autocar		Avion	
	années	Taux %	années	Taux %	années	Taux %
Construction immobilière	55	4	50	4	40	5
Travaux de génie civil	55	4	55	4	50	4
Autocars	s/o	s/o	10	20	s/o	s/o
Machinerie et équipement	28	7	s/o	s/o	20	10
Biens immobiliers portés à un compte de frais	5	40	5	40	5	40

Source : Publications de Statistique Canada.

B.2 CHARGES SOCIALES

Dans la présente section sont résumées les charges ou cotisations sociales perçues aux niveaux fédéral et provincial. À cet égard il a été tenu compte des cotisations de l'employeur au Régime de pensions du Canada/Régime de rentes du Québec (RPC/RRQ), des cotisations d'assurance-chômage et des taxes provinciales au titre des régimes de santé et d'éducation. Voici maintenant un examen rapide de chacun de ces types de taxes.

Régime de pensions du Canada/Régime de rentes du Québec (RPC/RRQ) : Le Régime de pensions du Canada existe depuis 1966 dans toutes les provinces canadiennes, sauf au Québec où le Régime de rentes du Québec est en place et comporte les mêmes règles de cotisation que le RPC. Actuellement, des gains maximum de 30 500 $, ouvrant droit à pension, sauf une exemption de base de 3 000 $, sont soumis à un impôt de 2,3 %. Le tableau 21 présente un résumé des taux des RPC/RRQ et des gains maximums pour 1991, tandis que le tableau 22 fait état des taux effectifs, par tranche de revenu, ces taux étant calculés pour la limite supérieure de chaque tranche.

Tableau 21
COTISATIONS AUX RÉGIMES DE PENSIONS DU CANADA/RENTES DU QUÉBEC POUR 1991

Gains maximums ouvrant droit à pension	30 500
Exemption de base ($)	3 000
Taux de cotisation (%)	
Employeur	2,3
Employé	2,3
Travailleur indépendant	4,6
Cotisations maximales ($)	
Employeur	632,50
Employé	632,50
Travailleur indépendant	1 265,00

Source : Publications de l'Association canadienne d'études fiscales.

Tableau 22
TAUX EFFECTIFS DU RPC/RRQ PAR TRANCHE DE REVENU, 1991

Revenu ($ CAN)	Taux effectifs (%)		
	Employeur	Employé	Travailleur indépendant
0–30 500	2,3	2,3	4,6
30 501–35 000	2,0	2,0	4,0
35 001–40 000	1,7	1,7	3,4
40 001–45 000	1,5	1,5	3,0
45 001–50 000	1,3	1,3	2,7
50 001–55 000	1,2	1,2	2,4
55 001–60 000	1,1	1,1	2,2
60 001–65 000	1,0	1,0	2,0
65 001–70 000	0,9	0,9	1,9
70 001–75 000	0,9	0,9	1,8
75 001–80 000	0,8	0,8	1,6
80 001–100 000	0,7	0,7	1,3

Cotisations d'assurance-chômage : À l'heure actuelle, la cotisation de l'employeur est de 3,15 % sur des gains maximums de 35 360 $, tandis que celle des employés est fixée à 2,5 %. Le tableau 23 présente un résumé des taux effectifs des cotisations d'assurance-chômage par tranche de revenu, calculés pour la limite supérieure de chacune des tranches.

Tableau 23
TAUX EFFECTIFS DES COTISATIONS D'ASSURANCE-CHOMAGE PAR TRANCHE DE REVENU, 1991

Revenu ($ CAN)	Taux effectifs (%)	
	Employeur	Employé
0–30 500	0,37	0,34
30 501–35 000	3,18	3,00
35 001–40 000	2,78	2,62
40 001–45 000	2,48	2,33
45 001–50 000	2,23	2,10
50 001–55 000	2,03	1,91
55 001–60 000	1,86	1,75
60 001–65 000	1,71	1,61
65 001–70 000	1,59	1,50
70 001–75 000	1,49	1,40
75 001–80 000	1,39	1,31
80 001–100 000	1,11	1,05

Cotisations sociales provinciales et primes d'assurance-maladie : Des cotisations sociales sont perçues sur la masse salariale des employeurs par quatre provinces — Terre-Neuve, Québec, Ontario et Manitoba — tandis que l'Alberta et la Colombie-Britannique perçoivent des primes d'assurance-maladie. Le tableau 24 fait état de la situation actuelle en ce qui a trait aux cotisations sociales et aux primes d'assurance-maladie. Au tableau 25 figurent les taux effectifs des primes d'assurance-maladie perçues en Alberta et en Colombie-Britannique des personnes seules et des familles.

Tableau 24
COTISATIONS SOCIALES PROVINCIALES, 1991

Province	Cotisations sociales %	Primes (annuelles) d'assurance-maladie ($)	
		personne seule	famille
Terre-Neuve	1,5	s/o	s/o
Île-du-Prince-Édouard	s/o	s/o	s/o
Nouvelle-Écosse	s/o	s/o	s/o
Nouveau-Brunswick	s/o	s/o	s/o
Québec	3,45	s/o.	s/o
Ontario	0,98/1,95	s/o	s/o
Manitoba	0/2,5/3,5	s/o.	s/o
Saskatchewan	s/o	s/o	s/o
Alberta	s/o	276	552
Colombie-Britannique	s/o	372	744

Tableau 25
TAUX EFFECTIFS DES PRIMES D'ASSURANCE-MALADIE PAR TRANCHE DE REVENU, 1991

Revenu ($ CAN)	Alberta		C.-B.	
	pers. seule (%)	famille (%)	pers. seule (%)	famille (%)
0-30 500	0,09	0,18	0,12	0,24
30 501-35 000	0,79	1,58	1,06	2,13
35 001-40 000	0,69	1,38	0,93	1,86
40 001-45 000	0,61	1,23	0,83	1,65
45 001-50 000	0,55	1,10	0,74	1,49
50 001-55 000	0,50	1,00	0,68	1,35
55 001-60 000	0,46	0,92	0,62	1,24
60 001-65 000	0,42	0,85	0,57	1,14
65 001-70 000	0,39	0,79	0,53	1,06
70 001-75 000	0,37	0,74	0,50	0,99
75 001-80 000	0,35	0,69	0,47	0,93
80 001-100 000	0,28	0,55	0,37	0,74

Deux taux marginaux effectifs distincts ont été calculés à l'égard du travail; l'un d'eux a été établi suivant les tranches de revenu, tandis que l'autre a été calculé pour chaque mode à l'aide de statistiques sur l'emploi tirées de publications de Statistique Canada. Le taux établi par tranche de revenu et présenté dans le corps du présent document est simplement la moyenne des taux fédéral et provinciaux susmentionnés.

B.3 TAXES SUR LES CARBURANTS

Dans la présente partie sont exposées les données qui ont servi à déterminer le taux marginal effectif de taxation du carburant pour chaque mode. Avant de passer au résumé des taux de taxation provinciaux et fédéraux, mentionnons que, d'après des conversations tenues avec des porte-parole de l'industrie, les prix du carburant commercial et industriel sont représentatifs des prix moyens payés par l'industrie[26]. Le carburant qui est acheté à titre de produit fini est classé comme produit de consommation, tandis que celui qui est acheté à la raffinerie à titre de matière première est classé commercial et industriel. L'analyse a été effectuée pour les deux catégories de carburant en supposant que chaque transporteur peut acheter du carburant de n'importe quelle catégorie mais non des deux à la fois.

Au Canada, les provinces perçoivent des taxes sur les carburants de différents types provenant de diverses catégories de vendeurs. Les provinces de Québec, d'Ontario, du Manitoba, de la Saskatchewan et d'Alberta perçoivent une taxe d'accise par unité sur les carburants, tandis que les autres provinces lèvent une taxe *ad valorem* sur les prix relevés par leur ministre respectif.

Outre les taxes provinciales sur les carburants, le gouvernement fédéral perçoit une taxe d'accise de quatre cents le litre sur tous les carburants. Cette taxe a été convertie en un taux effectif *ad valorem* à partir des prix moyens canadiens des carburants[27]. Les taux fédéral et provinciaux combinés *ad valorem* des taxes sur les carburants sont présentés au tableau 26.

Pour chaque mode de transport, le taux provincial effectif de taxation a été calculé à titre de moyenne pondérée des taux de taxation, le coefficient de pondération étant égal à la proportion que la consommation de carburant d'une province représente par rapport à la consommation globale[28].

Enfin, pour obtenir un taux global effectif de taxation du carburant par mode, on a employé des données de Statistique Canada sur la proportion de chaque type de carburant utilisé dans un même mode de transport. Ces chiffres ont ensuite été combinés avec ceux du tableau 26 afin d'obtenir les taux marginaux effectifs de taxation du carburant figurant au tableau 4.

Tableau 26

PRIX DE VENTE MOYENS (SANS TAXES) DES CARBURANTS, TAXES UNITAIRES ET TAUX ÉQUIVALENTS DES TAXES AD VALOREM

(TAXES PROVINCIALES ET FÉDÉRALES COMBINÉES)

	T.-N.	Î.P.-É.	N.É.	N.B.	Qc	Ont.	Man.	Sask.	Alb.	C.-B.
Diesel	24,4	24,4	24,4	24,4	21,7	23,4	22,0	22,0	22,0	22,6
Taxe d'accise fédérale	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Taxe provinciale	15,6	12,4	16,2	13,7	11,5	10,9	9,9	10,0	7,0	11,2
Taxe totale ¢/L	19,6	16,4	20,2	17,7	15,5	14,9	13,9	14,0	11,0	15,2
Taux de taxation (%)	80,3	67,2	82,8	72,5	71,6	63,7	63,2	63,6	50,0	67,2
Diesel à locomotive	24,4	24,4	24,4	24,4	21,7	23,4	22,0	22,0	22,0	22,6
Taxe d'accise fédérale	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Taxe provinciale	0,0	12,4	0,0	4,3	3,0	4,0	13,6	15,0	5,0	3,3
Taxe totale ¢/L	4,0	16,4	4,0	8,3	7,0	8,0	17,6	19,0	9,0	7,3
Taux de taxation (%)	16,4	67,2	16,4	28,7	32,3	34,2	80,0	86,4	40,9	32,5
Turbine aéronautique	28,4	28,4	28,4	28,4	25,0	21,4	22,2	22,2	22,2	21,7
Taxe d'accise fédérale	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Taxe provinciale	0,7	0,7	1,0	2,5	5,7	2,1	5,8	7,0	5,0	3,3
Taxe totale ¢/L	4,7	4,7	5,0	6,5	9,7	6,1	9,8	11,0	9,0	7,3
Taux de taxation (%)	16,5	16,5	17,6	22,9	39,0	28,5	44,1	49,5	40,5	33,8

Tableau 26 (suite)

PRIX DE VENTE MOYENS (SANS TAXES) DES CARBURANTS, TAXES UNITAIRES ET TAUX ÉQUIVALENTS DES TAXES AD VALOREM

(TAXES PROVINCIALES ET FÉDÉRALES COMBINÉES)

	T.-N.	Î.P.-É.	N.É.	N.B.	Qc	Ont.	Man.	Sask.	Alb.	C.-B.
Diesel										
Carburéacteur	44,1	44,1	44,1	44,1	41,7	41,4	41,6	41,6	41,6	42,6
Taxe d'accise fédérale	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Taxe provinciale	0,7	0,7	1,0	2,5	7,6	2,1	5,8	7,0	5,0	3,3
Taxe totale ¢/L	10,2	10,2	10,5	12,0	17,1	11,6	15,3	16,5	14,5	12,8
Taux de taxation (%)	23,1	23,1	23,8	27,2	41,1	28,0	36,8	39,7	34,9	30,1

Nota : Aucun des prix ne contient de taxes et tous les chiffres de ces prix ont été obtenus d'EMR; les données existantes sont regroupées par région, et non par province. Les données concernant les taxes correspondent aux taxes en vigueur le 1er avril 1991 (celles qui concernent la taxe sur le diesel à locomotive étaient en vigueur en mai 1991 et ont été obtenues des gouvernements provinciaux) et sont tirées de la publication suivante d'EMR : *Taxes provinciales et fédérales sur les produits pétroliers,* volume 3, juin 1991. À noter que la taxe provinciale du Québec comprend la TVQ de 8 pour cent, celle-ci n'étant pas perçue sur le diesel à locomotive. Les prix du diesel pour véhicules routiers et pour locomotive sont identiques et sont ceux qui sont portés au compte des acheteurs de carburant commercial et industriel. D'après les renseignements obtenus de diverses sociétés ferroviaires et entreprises d'autocar au Canada, ces prix sont représentatifs. Les porte-parole de l'industrie de l'autocar affirment que celle-ci utilise essentiellement du carburant diesel; aussi supposons-nous que cette industrie emploie exclusivement ce carburant. En ce qui concerne l'essence d'aviation, les représentants d'EMR affirment que la majeure partie de ce carburant contient du plomb, de sorte que le taux de 9,5 cents (au lieu de 8,5 cents pour le carburant sans plomb) a été utilisé pour la taxe fédérale d'accise.

ANNEXE C : TAUX D'IMPOSITION PRÉVUS PAR LA LOI AUX ÉTATS-UNIS ET DONNÉES DE CALCUL

La présente partie contient un résumé des taxes et impôts américains qui ont une incidence sur le travail, sur le capital et sur le carburant dans l'industrie des transports. L'analyse porte d'abord sur les dispositions fiscales américaines relatives à l'imposition des sociétés et aux amortissements. La méthode suivie pour calculer t_i, i = k,l,f, pour le régime de taxation américain est la même que pour le régime canadien; de plus, les données et paramètres employés dans les calculs sont les mêmes que ceux qui ont servi dans l'étude de la situation au Canada.

C.1 IMPÔTS SUR LE CAPITAL

C.1.1 Impôts des sociétés américaines

Aux États-Unis, l'échelle des taux d'imposition des sociétés correspond à des tranches de revenu très basses, le taux maximal de 34 % étant perçu sur tout revenu dépassant 75 000 $. Pour empêcher les grandes entreprises de bénéficier de taux d'impôt progressifs à des niveaux faibles, la tranche de revenu imposable située entre 100 000 $ et 335 000 $ est soumise à un impôt de 39 %, au lieu du taux de base de 34 %. Cela permet d'éliminer graduellement l'avantage que représentent les taux d'impôt progressifs pour les sociétés qui ont des gains supérieurs à 100 000 $ et de l'éliminer complètement pour celles dont les gains dépassent 335 000 $, en soumettant ces sociétés à un taux uniforme de 34 % au niveau fédéral.

Quarante-cinq États américains perçoivent un impôt sur le revenu des sociétés; de ce nombre, huit utilisent une assiette fiscale qui diffère légèrement de l'assiette fédérale — soit l'Alabama, l'Arkansas, la Louisiane, le Minnesota, le Mississippi, le Montana, l'Utah et le Wisconsin. La plupart des États ont des taux d'imposition légèrement progressifs pour des niveaux de revenu très bas.

Les impôts sur le revenu perçus par les États sont déductibles de l'assiette fédérale. Cela réduit les taux d'imposition effectifs, prévus dans les lois étatiques, par un facteur de un moins le taux d'imposition fédéral. Le taux d'imposition moyen des États, qui se fonde sur les tranches d'imposition les plus

élevées dans chaque État, est d'environ 6,6 %. Aussi, comme les impôts des États sont déductibles de l'impôt fédéral, le taux d'imposition moyen des sociétés est d'environ 40,49 % aux États-Unis. C'est le taux qui a été utilisé dans les calculs qui précèdent. Il existe cependant des écarts importants entre les États.

Ainsi, pour les cinq États américains qui ne perçoivent aucun impôt sur le revenu des sociétés (le Nevada, le Dakota du Sud, le Texas, Washington et le Wyoming), le taux d'imposition global est le taux fédéral de base de 34 %. C'est la Pennsylvanie qui, de tous les États américains, a le taux d'imposition le plus élevé, soit 12 %, ce qui donne un taux d'imposition combiné de 41,92 %. Au tableau 27 figure la liste des taux d'imposition des États américains pour 1992.

Tableau 27
TAUX AMÉRICAINS D'IMPOSITION DES SOCIÉTÉS PRÉVUS PAR LA LOI

État	%
Maine	8,9
New Hampshire	8,3
Vermont	9,0
Massachusetts	8,3
Rhode Island	8,0
Connecticut	11,5
New York	10,0
New Jersey	9,0
Pennsylvanie	9,5
Ohio	9,2
Indiana	3,0
Illinois	4,0
Michigan	2,4
Wisconsin	7,9
Minnesota	12,0
Iowa	12,0
Missouri	5,0
Dakota du Nord	10,5
Dakota du Sud	0,0
Nebraska	6,7
Kansas	4,5
Delaware	8,7
Maryland	7,0
Virginie	6,0
Virginie de l'Ouest	7,0
Caroline du Nord	6,0
Caroline du Sud	6,0
Géorgie	6,0
Floride	5,5
Kentucky	7,3

Tableau 27
TAUX AMÉRICAINS D'IMPOSITION DES SOCIÉTÉS PRÉVUS PAR LA LOI

État	%
Tennessee	6,0
Alabama	5,0
Mississippi	5,0
Arkansas	6,0
Louisiane	8,0
Oklahoma	5,0
Texas	0,0
Montana	6,8
Idaho	7,7
Wyoming	0,0
Colorado	6,0
Nouveau-Mexique	7,6
Arizona	10,5
Utah	5,0
Nevada	0,0
Washington	0,0
Oregon	7,5
Californie	9,6
Alaska	9,4
Hawaï	6,4

C.1.2 Recouvrement du capital

Les biens amortissables comprennent la plupart des immobilisations corporelles, sauf les terrains. Tout comme le Canada, les États-Unis calculent les taux d'amortissement à partir du coût initial de l'immobilisation, et non de son coût de remplacement. L'assiette de l'amortissement n'est pas indexée sur l'inflation.

Aux États-Unis, on attribue à chaque immobilisation une durée moyenne d'amortissement (Asset Depreciation Range) qui est prévue dans la loi. Les durées moyennes d'amortissement sont fondées sur la «durée de vie» estimée pour chaque bien. Elles sont regroupées en diverses catégories formant le système modifié de recouvrement accéléré des frais (Modified Accelerated Cost Recovery System — MACRS), chacune de ces catégories précisant la période prévue pour le recouvrement de la dépense en capital, soit : 3, 5, 7, 10, 15 ou 20 ans pour la machinerie et l'équipement, et 31,5 ans pour les immeubles non résidentiels. Les périodes de recouvrement comprises dans ce système ont tendance à être accélérées par rapport aux durées moyennes d'amortissement. Ainsi, les biens dont le recouvrement des frais est échelonné sur sept ans comprennent des immobilisations dont la durée

moyenne d'amortissement est de dix ans, mais pas moins de seize. Ceux dont le recouvrement des frais s'échelonne sur 3, 5, 7 et 10 ans sont amortis suivant une règle d'amortissement dégressif de 200 % (deux fois le taux d'amortissement linéaire pour la période de recouvrement), avec passage à l'amortissement linéaire pour le reste de la période de recouvrement au moment jugé opportun. Les biens dont les frais sont recouvrables sur 15 et 20 ans sont amortis suivant une règle d'amortissement dégressif de 150 % (1,5 fois le taux d'amortissement linéaire pour la période de recouvrement), avec passage à l'amortissement linéaire. Les immeubles non résidentiels sont amortis suivant la méthode d'amortissement linéaire sur 31,5 ans.

Une règle de mise en service existe aux États-Unis. Cela veut dire qu'un bien ne peut être amorti avant l'exercice au cours duquel il a été mis en service, peu importe l'année où il a été acheté. Une règle de la demi-année s'applique à la fois à la première et la dernière année de recouvrement (ou année de cession). La déduction pour amortissement effectuée l'année de mise en service équivaut donc à la moitié du montant auquel donnerait normalement droit une année complète d'amortissement. L'année où l'entreprise retire un bien du service, celle-ci peut réclamer l'autre semestre d'amortissement. Cela a pour effet d'ajouter une année à la période de recouvrement (c'est-à-dire que les biens dont les frais peuvent être recouvrés sur sept ans ont, dans les faits, une période de recouvrement de huit ans).

Pour illustrer ce propos, les taux d'amortissement des biens dont les frais peuvent être recouvrés sur sept ans sont énumérés au tableau 28 pour une dépense de 100 $, tandis que les catégories pertinentes de recouvrement accéléré des frais (MACRS) dans le secteur du transport voyageurs figurent au tableau 29.

La liste des immobilisations contenues au tableau 29 a été répartie en cinq catégories de dépenses en capital : construction immobilière, travaux de génie civil, autocars, machinerie et équipement. La valeur actuelle des déductions pour recouvrement accéléré des frais a été calculée à l'aide des paramètres financiers exposés à l'annexe B du rapport sur la situation canadienne. Au tableau 30 figure la valeur fiscale actuelle des déductions de recouvrement accéléré des frais (MACRS) pour les secteurs ferroviaire et aérien et pour l'industrie de l'autocar.

Tableau 28

DÉDUCTION DE RECOUVREMENT ACCÉLÉRÉ DES FRAIS POUR LES IMMOBILISATIONS DONT LE RECOUVREMENT EST ÉCHELONNÉ SUR SEPT ANS

année	$ US
1	14,29
2	24,49
3	17,49
4	12,49
5	8,92
6	8,92
7	8,92
8	4,47

Tableau 29

CATÉGORIES AUX FINS DU SYSTÈME MODIFIÉ DE RECOUVREMENT ACCÉLÉRÉ DES FRAIS (MACRS)

Catégorie	Période de recouvrement
Autobus utilisés pour le transport (urbain et périphérique) de passagers	5 ans
Machinerie et équipement ferroviaires (y compris locomotives, voitures à voyageurs et wagons à marchandises, machines d'atelier et de voie, signaux et enclenchements, etc.)	7 ans
Immobilisations de l'industrie aérienne (y compris équipement d'aéronefs, radars, pièces de rechange, etc.)	7 ans
Tous bâtiments et structures (y compris hangars, gares, ponts, ouvrages sur chevalets, postes de ravitaillement en eau et en carburant, bâtiments de gares et de bureaux, voies de roulement et de chemins de fer, passages à niveau, etc.)	31,5 ans

Tableau 30

VALEUR FISCALE ACTUELLE DES DÉDUCTIONS DE RECOUVREMENT ACCÉLÉRÉ DES FRAIS (MACRS), PAR MODE

	Train	Autocar	Avion
	%		
Construction immobilière	12	12	12
Travaux de génie civil	12	12	12
Autocars	s/o	31	s/o
Machinerie et équipement	29	s/o	29

Le régime fiscal américain (tout comme le canadien) permet de déduire intégralement les dépenses nominales au titre des intérêts sur emprunt. Le contribuable peut choisir de capitaliser ces intérêts en les incluant dans le prix de base de l'immobilisation et en les recouvrant au moyen des déductions pour amortissement. Cette façon de faire peut être souhaitable si elle donne lieu à une perte d'exploitation qui pourrait prendre fin. Il n'y a ni déduction pour le coût d'opportunité du financement par capitaux propres (réinvestissement des bénéfices ou émission de nouvelles actions) ni correction en fonction de l'inflation en vue de restreindre la déductibilité au coût réel, et non au coût nominal, des emprunts.

C.1.3 L'impôt minimum de remplacement

Le régime fiscal américain contient des dispositions obligeant les sociétés «rentables» à payer au moins un montant minimal d'impôt, dit impôt minimum de remplacement (IMR); cet impôt a été adopté au moment de la réforme fiscale de 1986. Il s'agit en réalité d'un impôt parallèle qui doit être calculé séparément de l'impôt ordinaire des sociétés, l'impôt effectivement payable étant le plus élevé des deux. L'absence de données n'a pas permis d'inclure l'IMR dans les calculs.

Les valeurs de t_k pour le régime fiscal américain ont été calculées à l'aide des taux historiques canadiens d'amortissement mentionnés à l'annexe B, et présentées à nouveau aux tableaux 31 et 32.

Tableau 31
TAUX D'AMORTISSEMENT (DÉGRESSIF) ÉCONOMIQUE, PAR MODE ET PAR CATÉGORIE D'IMMOBILISATIONS

	Train	Autocar	Avion
	%		
Construction immobilière	4	4	5
Travaux de génie civil	4	4	4
Autocars	s/o	20	s/o
Machinerie et équipement	7	s/o	10
Biens immobilisés portés à un compte de frais	40	40	40

Tableau 32
RÉSUMÉ DES COEFFICIENTS DE PONDÉRATION DES STOCKS D'IMMOBILISATIONS, PAR MODE

	Train	Autocar	Avion
	%		
Construction immobilière	6,0	19,1	19,1
Travaux de génie civil	62,3	1,1	1,1
Autocars	0,0	79,0	0,0
Machinerie et équipement	31,5	0,0	79,0
Biens immobilisés portés à un compte de frais	0,2	0,8	0,8
Total	**100,0**	**100,0**	**100,0**

C.2 LES CHARGES SOCIALES AUX ÉTATS-UNIS

Aux États-Unis, les charges sociales sont plus élevées qu'au Canada. Le gouvernement fédéral américain est habilité, aux termes de la *Federal Insurance Contribution Act (FICA)*, à percevoir des cotisations de sécurité sociale auprès des employeurs et des employés et, aux termes de la *Federal Unemployment Income Tax Act*, des cotisations d'assurance-chômage auprès des employeurs. Chaque État perçoit également de ceux-ci des cotisations d'assurance-chômage.

Federal Insurance Contribution Act : Tous les employeurs sont tenus de percevoir sur les traitements et salaires de leurs employés des cotisations de sécurité sociale et d'assurance-hospitalisation, et de verser un montant équivalent. Les cotisations de sécurité sociale correspondent à 7,51 % de la première tranche de traitement ou salaire brut de 48 000 $ US. Ce montant a été converti en un montant maximal équivalent en dollars canadiens en supposant un taux de change de 15 %. Au tableau 33 sont présentés les taux des cotisations de sécurité sociale et les cotisations maximales, en dollars canadiens, tandis que le tableau 34 donne les taux effectifs des cotisations de sécurité sociale par tranche de revenu exprimée en dollars canadiens.

Federal Unemployment Tax Act : Le gouvernement fédéral américain perçoit des seuls employeurs une taxe de 6,2 % sur la première tranche de 7 000 $ de traitement ou salaire versé à un employé. En se fondant sur un taux de change de 15 %, il a été établi que cette contribution maximale correspondrait, en dollars canadiens, à 499,10 $ sur la première tranche de 8 050 $. Le tableau 35 présente les taux effectifs des cotisations d'assurance-chômage par tranche de revenu exprimée en dollars canadiens.

Tableau 33

TAUX DES COTISATIONS DE SÉCURITÉ SOCIALE ET COTISATIONS MAXIMALES AUX ÉTATS-UNIS

Maximum des gains ouvrant droit à pension ($ CAN)	55 200
Exemption de base	0
Taux des cotisations (%)	
Employeurs	7,5
Employés	7,5
Cotisations maximales ($ CAN)	
Employeurs	4 145,52
Employés	4 145,52

Tableau 34

TAUX EFFECTIFS DES COTISATIONS DE SÉCURITÉ SOCIALE PAR TRANCHE DE REVENU

Revenu ($ CAN)	Traitements et salaires ($ CAN)	Cotisations ($ CAN)	Employeurs (%)	Employés (%)
0-30 500	30 500	2 290,55	7,51	7,51
30 501-35 000	35 000	2 628,50	7,51	7,51
35 001-40 000	40 000	3 004,00	7,51	7,51
40 001-45 000	45 000	3 379,50	7,51	7,51
45 001-50 000	50 000	3 755,00	7,51	7,51
50 001-55 000	55 000	4 130,50	7,51	7,51
55 001-60 000	60 000	4 145,52	6,91	6,91
60 001-65 000	65 000	4 145,52	6,38	6,38
65 001-70 000	70 000	4 145,52	5,92	5,92
70 001-75 000	75 000	4 145,52	5,53	5,53
75 001-80 000	80 000	4 145,52	5,18	5,18
80 001-100 000	100 000	4 145,52	4,15	4,15

Tableau 35

TAUX EFFECTIFS DES COTISATIONS D'ASSURANCE-CHÔMAGE PAR TRANCHE DE REVENU

Revenu ($ CAN)	Traitements et salaires ($ CAN)	Cotisations ($ CAN)	Employeurs (%)
0-30 500	30 500	499,1	1,64
30 501-35 000	35 000	499,1	1,43
35 001-40 000	40 000	499,1	1,25
40 001-45 000	45 000	499,1	1,11
45 001-50 000	50 000	499,1	1,00
50 001-55 000	55 000	499,1	0,91
55 001-60 000	60 000	499,1	0,83
60 001-65 000	65 000	499,1	0,77
65 001-70 000	70 000	499,1	0,71
70 001-75 000	75 000	499,1	0,67
75 001-80 000	80 000	499,1	0,62
80 001-100 000	100 000	499,1	0,50

Charges sociales des États : Les employeurs sont tenus de contribuer aux programmes d'assurance-chômage financés par les États. La partie imposable des traitements et salaires varie d'un État à l'autre, tout comme les taux d'impôt sur le revenu des particuliers. Le taux moyen d'imposition des divers États a été établi à 2,7 % sur un maximum de 7 000 $ US.

Au tableau 36 figurent les taux effectifs combinés des cotisations de sécurité sociale et ceux des cotisations d'assurance-chômage aux niveaux fédéral et étatique. Ces taux combinés ont été pondérés à partir de statistiques canadiennes de l'emploi afin d'obtenir un taux marginal effectif pondéré de taxation du travail aux États-Unis.

Tableau 36
TAUX EFFECTIFS COMBINÉS DES COTISATIONS DE SÉCURITÉ SOCIALE ET TAUX FÉDÉRAL ET ÉTATIQUES DES COTISATIONS D'ASSURANCE-CHÔMAGE PAR TRANCHE DE REVENU

Revenu ($ CAN)	Traitements et salaires ($ CAN)	Cotisations des employeurs (%)		
		A-C	SS	A-C + SS
0-30 500	30 500	2,35	7,51	9,86
30 501-35 000	35 000	2,05	7,51	9,56
35 001-40 000	40 000	1,79	7,51	9,30
40 001-45 000	45 000	1,59	7,51	9,10
45 001-50 000	50 000	1,43	7,51	8,94
50 001-55 000	55 000	1,30	7,51	8,81
55 001-60 000	60 000	1,19	6,91	8,10
60 001-65 000	65 000	1,10	6,38	7,48
65 001-70 000	70 000	1,02	5,92	6,95
70 001-75 000	75 000	0,96	5,53	6,48
75 001-80 000	80 000	0,90	5,18	6,08
80 001-100 000	100 000	0,72	4,15	4,86

C.3 TAXES AMÉRICAINES SUR LE CARBURANT

Le gouvernement fédéral perçoit une taxe d'accise de 6,2 cents le litre sur le diesel pour véhicules routiers et de 0,8 cent le litre sur le diesel à locomotives. Le carburéacteur n'est l'objet d'aucune taxe fédérale aux États-Unis. Les moyennes pondérées des taxes étatiques sur le carburant ont été calculées pour les États de Washington, du Montana, du Dakota du Nord, du Minnesota, du Michigan, de New York et du Maine à partir des statistiques canadiennes sur le carburant. Ces moyennes pondérées, exprimées en dollars américains, ont ensuite été converties en dollars canadiens en appliquant un ratio de 1,15 à chaque dollar américain pour prendre en compte le taux du change. Puis, en utilisant les prix canadiens de réalisation de

chaque type de carburant, on a calculé le taux marginal effectif de taxation du carburant pour chaque mode. Au tableau 37 figurent les taux combinés fédéral et étatiques des taxes d'accise et les taux équivalents *ad valorem* pour les États-Unis.

Tableau 37
TAUX COMBINÉS DES TAXES FÉDÉRALES ET ÉTATIQUES SUR LE CARBURANT AUX ÉTATS-UNIS

	Diesel pour véhicules routiers		Diesel pour locomotives		Carburéacteur	
État	**%**	**$ CAN le L**	**%**	**$ CAN le L**	**%**	**$ CAN le L**
Maine	51	0,14	9	0,02	4	0,01
New York	58	0,18	9	0,02	20	0,04
Michigan	41	0,12	8	0,02	3	0,01
Minnesota	48	0,14	4	0,01	8	0,02
Dakota du Nord	8	0,13	6	0,01	4	0,01
Montana	48	0,14	4	0,01	1	0,00
Washington	48	0,15	13	0,03	9	0,02

NOTES

Nous sommes reconnaissants à M. Ashish Lall pour l'aide qu'il nous a fournie en nous procurant de nouvelles données relatives aux taxes sur le carburant et en corrigeant des erreurs qui s'étaient glissées dans le volet empirique des travaux. Les erreurs qui demeurent nous sont entièrement attribuables. Le troisième auteur tient à remercier le Conseil de recherches en sciences humaines du Canada pour son aide financière.

1. En particulier, il a été impossible de tenir compte des impôts fonciers, dans notre analyse, en raison des difficultés que nous avons eues à obtenir les données voulues. Cependant, l'exclusion des impôts fonciers se justifie peut-être pour d'autres motifs; voir ce qui en est dit plus loin.

2. Cette hypothèse de conditions parfaites de concurrence est énoncée pour les seuls besoins de l'exposé, car l'analyse s'applique en outre à une industrie de structure non concurrentielle.

3. À noter que, dans le calcul des valeurs de t_k, les changements relatifs de prix des immobilisations ont été supposés nuls (voir l'annexe A). Cette hypothèse n'entraîne aucun changement qualitatif au niveau des résultats.

4. Voir à l'annexe B le résumé portant sur les taux de DPA.

5. Voir à l'annexe B le résumé des coefficients de pondération attribués aux dépenses en immobilisations.

6. D'après des conversations tenues avec des dirigeants des divers autocaristes canadiens, certaines grandes entreprises peuvent acheter leur carburant à des prix inférieurs à ceux qui sont pratiqués ici parce qu'elles font partie de cartels d'achat. Étant donné le caractère confidentiel de ces données, elles ne nous ont pas été communiquées. Richard Lake, de la Commission royale sur le transport des voyageurs au Canada, a suggéré d'employer un prix (excluant taxes) moyen canadien de 20 cents le litre pour le gazole à autocar, une taxe d'accise fédérale de 4 cents le litre et des taxes provinciales de 11 cents le litre. Cela signifie un taux de taxation de 75 % pour ce gazole. Si ces taux étaient utilisés dans les calculs du tableau 5, le taux de taxation effectif lié au coût marginal pour l'industrie de l'autocar n'augmenterait guère et passerait de 21,0 à 21,7 %.

7. L'étude fait abstraction des volets internationaux du transport voyageurs et se fonde sur les taux de taxation effectifs du carburant commercial et industriel utilisé par tous les modes.

8. À noter que l'industrie de l'autocar est soumise aux taxes les plus faibles sur le travail et que c'est cet intrant qui représente la part la plus importante de son coût total.

9. Le report des pertes d'exploitation sur les sept années ultérieures ne vaut que pour les pertes déclarées. Les entreprises peuvent reporter sur une période indéfinie les pertes en capital et les déductions discrétionnaires.

10. Le gouvernement fédéral a annoncé un programme de compensation des pertes permettant aux entreprises de réduire la taxe d'accise sur le carburant diesel et sur le carburéacteur en renonçant à des pertes de 10 $, déductibles du revenu imposable, contre une réduction de 1 $ de la taxe d'accise fédérale. Au taux d'imposition de 40 %, les entreprises qui jouissent d'un taux d'emprunt de 15 % estimeront rentable de renoncer à des déductions pour pertes contre une réduction immédiate de la taxe sur le carburant si elles entrevoient de payer aucun impôt pendant au moins neuf années ou si les pertes sont sur le point de prendre fin.

11. Les calculs montrent que le régime modifié de recouvrement accéléré d'investissements sur une période de sept années correspondrait au Canada à un taux de DPA de 26 % et, si la période était de cinq ans, à un taux de DPA de 33 %.

12. Les taux effectifs des taxes sur le carburant aux États-Unis ont été établis en calculant les taxes perçues par les gouvernements étatiques et fédéral dans les États contigus à la frontière canado-américaine. Ces taxes ont été pondérées, dans le cas de chaque État, à l'aide des statistiques de consommation de carburant pour chaque province limitrophe. Cela a permis d'établir par approximation le coefficient de pondération des taxes de chaque État sur le carburant.

13. Au Canada, la règle de la demi-année s'applique à la plupart des catégories d'immobilisations. Dans le cas qui nous occupe, la valeur actuelle des déductions pour amortissement devient :

$$Z^* = \frac{d}{2} = (1 - \frac{d}{2}) \frac{de^{-r^F} + \pi}{r^F + d + \pi}$$

14. Cette hypothèse impose certaines limitations à l'analyse; cependant, ce serait déborder largement le cadre de la présente étude que d'attribuer à l'élasticité de l'offre de main-d'oeuvre d'autres valeurs que l'infini.

15. Voir l'article 124 de la *Loi de l'impôt sur le revenu*, et notamment le paragraphe (3).

16. Le paragraphe 400(2) du *Règlement de l'impôt sur le revenu* définit ainsi le terme «établissement permanent» : «une place fixe d'affaires de la corporation, y compris un bureau, . . . un atelier ou un entrepôt, et lorsque la corporation n'a pas de place fixe d'affaires, elle signifie l'endroit principal où les affaires de la corporation sont exercées».

17. L'Ontario, l'Alberta et le Québec sont les seules provinces à n'avoir pas conclu cet accord avec le gouvernement fédéral; cependant, les assiettes fiscales utilisées par chacune d'elles se rapprochent suffisamment de l'assiette fiscale fédérale pour que tout écart soit considéré comme négligeable.

18. Il est important de noter que l'Ontario, le Québec et l'Alberta utilisent les mêmes règles de répartition que les autres provinces, même si elles n'ont pas conclu d'accord avec le gouvernement fédéral.

19. Pour les besoins de la fiscalité, le nombre ajusté de milles de voie est le total du nombre de milles de la première voie principale, de 80 % du nombre de milles d'autres voies principales et de 50 % du nombre de milles de voies de gare de triage et de voies d'évitement.

20. Article 406 du *Règlement de l'impôt sur le revenu.*

21. Article 409 du *Règlement de l'impôt sur le revenu.*

22. Article 407 du *Règlement de l'impôt sur le revenu.*

23. C'est ce qu'on appelle plus haut la règle de la demi-année.

24. Les coefficients de pondération des stocks d'immobilisations sont tirés d'une publication de Statistique Canada, catalogue nº 13-211. Les chiffres en dollars constants des stocks nets de mi-exercice ont été utilisés.

25. Les données concernant la durée de vie utile sont tirées d'une publication de Statistique Canada, catalogue nº 13-211.

26. Il existe d'autres catégories de carburants, qui ne s'appliquent cependant pas à l'industrie des transports, en règle générale.

27. Les prix moyens canadiens des carburants ont été obtenus d'Énergie, Mines et Ressources Canada et sont les prix courants au 1er avril 1991.

28. Ces coefficients de pondération ont été obtenus en calculant l'utilisation finale du carburant, par mode et par province, à partir d'une publication de Statistique Canada, catalogue nº 57-003.

RÉFÉRENCES

Arthur Andersen & Co., *Tax Forum*, vol. 3, juin 1991.

Boadway, R. W., N. Bruce et J. M. Mintz, «Taxes on Capital Income in Canada: Analysis and Policy», *Canadian Tax Paper*, nº 80, Association canadienne d'études fiscales, 1987.

Canadian Tax Foundation, *The National Finances: An Analysis of the Revenues and Expenditures of the Government of Canada*, 1990.

Canadian Tax Foundation, *Provincial and Municipal Finances*, 1989.

CCH Canadienne Limitée, *Loi de l'impôt sur le revenu du Canada et Règlements, 1990-1991*, Don Mills (Ontario) 1991.

CCH Canadian Limited, *Canadian Master Tax Guide*, 1990, Don Mills, (Ontario) 1990.

Daly, M. J., et J. Jung, «The Taxation of Corporate Investment Income in Canada: An Analysis of Marginal Effective Tax Rates», *Revue canadienne d'économique*, 20, 1987. pp. 555-587.

Énergie, Mines et Ressources Canada, *Taxes fédérales et provinciales sur les produits pétroliers*, vol. 3, juin 1991.

Gillen, D. W., T. H. Oum et M. W. Trethaway, «Airline Cost Structure and Policy Implications: A Multiproduct Approach for Canadian Airlines», *Journal of Transport Economics and Policy*, janvier 1990, pp. 9-34.

Jung, J., «The Calculation of Marginal Effective Corporate Tax Rates in the 1987 White Paper on Tax Reform», document de travail nº 89-6, Ministère des finances, 1988.

Leore, Robert, «Transport interurbain des voyageurs. Regroupement de données». Rapport préparé pour la Commission royale sur le transport des voyageurs au Canada, RR-14, Ottawa, Approvisionnements et Services Canada, 1992.

Statistique Canada, diverses publications.

22

LES TECHNOLOGIES DU TRANSPORT VOYAGEURS

Richard Lake*
Novembre 1990

INTRODUCTION

Le présent aperçu ne constitue qu'un survol des technologies ou principes scientifiques relatifs aux déplacements interurbains au Canada, ainsi que des possibilités d'avenir dans ce domaine[1]. Par contre, il se veut davantage représentatif de la perspective du politicologue, de l'économiste ou de l'analyste des politiques, pour ne citer que ceux-là.

Les deux sections suivantes sont relativement distinctes l'une de l'autre. La première porte sur des principes physiques généraux n'ayant pas de rapport direct avec les différents modes de transport, mais demeurant tout de même dans les grandes lignes du mandat de la Commission. La seconde section présente un tour d'horizon des technologies prospectives, à terme de 25 ans (défini ici comme le moyen terme) dans le domaine du transport voyageurs interurbain.

I. PRINCIPES FONDAMENTAUX

Une grande partie des principes énoncés ici sont sans doute connus du lecteur et ils ne sont repris que pour souligner leur importance et pour

* The Research and Traffic Group.

apporter quelque éclairage sur les technologies de pointe qui sont souvent proposées en tant que solutions aux problèmes de transport du Canada.

LA VITESSE

La vitesse est souvent le facteur déterminant dans la réussite de telle ou telle technologie de transport voyageurs par rapport à telle autre. Il est évident que la vitesse (c'est-à-dire le rapport distance-temps entre le point de départ et le point d'arrivée)[2] est un facteur d'attraction pour la clientèle qui est prête à payer plus pour aller plus vite. Ce qui est moins évident, mais tout aussi important, c'est que, pour un mode de transport donné, la vitesse est habituellement synonyme de *coûts moindres*. En effet, même si une augmentation de la vitesse occasionne un accroissement des coûts en carburant, elle permet en retour un redoublement de la capacité des réseaux de transport. Et ce qui compte davantage, c'est que le rendement de la main-d'oeuvre et du matériel (deux postes qui sont généralement beaucoup plus importants que les dépenses en carburant) s'améliore de façon proportionnelle à l'augmentation de la vitesse.

LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

Aux vitesses de déplacement actuelles des moyens de transport voyageurs interurbain, les critères de puissance et de consommation de carburant cèdent le pas aux considérations de résistance aérodynamique. En effet, aux vitesses subsoniques, la résistance augmente selon le *carré* de la vitesse, mais elle diminue en même temps que la densité de l'air pour être presque nulle à haute altitude. D'où l'équation implacable voulant que, toutes choses étant égales par ailleurs, plus on est haut, plus on va vite. Dès lors, les moyens de surface ne peuvent échapper à une limite tout à fait pratique, alors que, pour les moyens aériens, plus l'altitude est élevée, plus la vitesse peut être grande. Force nous est donc de conclure que le train à grande vitesse (mais tout est relatif) ou le maglev, qui a des qualités aérodynamiques supérieures au premier, pourraient fort bien combler le créneau du transport à moyenne distance (500 à 1 000 kilomètres), mais que l'avion continuera *ad infinitum* de dominer sur les longues distances.

LES CARBURANTS DE SUBSTITUTION

Sauf quelques rares exceptions, les moyens de transport voyageurs interurbain au Canada sont propulsés par des carburants hydrocarbonés. Les carburants de remplacement le plus fréquemment proposés se veulent une façon d'économiser les carburants fossiles et de supprimer les émissions de dioxyde de carbone. Toutefois, dans la mesure où il faut disposer de carburants dits portables pour la plupart des modes de transport existants et envisagés, les dérivés du pétrole (une source légère et pratique d'énergie chimique concentrée) demeurent un choix logique.

Toute transformation d'énergie (chimique, électrique, nucléaire ou mécanique [compression, synergie, chaleur], etc.) s'accompagne d'une importante diminution du rendement qui, dans la plupart des cas, peut dépasser 50 pour cent. La transformation produit habituellement de la chaleur (la forme «inférieure» d'énergie) et des déchets. Dès lors, ce sont normalement les modes de consommation d'énergie nécessitant la transformation minimale la plus simple qui soit, qui constituent les modes d'utilisation les plus rentables des sources d'énergie actuelles, sur les plans économique et énergétique, sans compter qu'ils permettent de réduire le volume d'émissions rejetées dans l'environnement.

L'énergie solaire

L'énergie solaire, qui convient parfaitement pour le chauffage des espaces et de l'eau, moyennant une perte de rendement minimale, serait très coûteuse à transformer en carburant de transport (ce qui impliquerait d'ailleurs toute une chaîne de transformations), et seule une fraction de l'énergie initiale serait exploitable. Par contre, l'électricité est une excellente source d'énergie motrice et les distillats moyens du pétrole (mazout domestique, diesel, etc.) s'imposent comme autant de carburants portables ayant un rendement énergétique relativement élevé. Ainsi, advenant que les combustibles de remplacement soient vraiment en demande, ce serait du gaspillage que d'utiliser ces deux dernières formes d'énergie pour le chauffage de l'eau et des espaces, à la place de formes inférieures comme l'énergie solaire.

L'électricité

Certes, les véhicules alimentés par batteries peuvent permettre de réduire les émissions en milieu urbain, et les trains électriques présentent des avantages non négligeables. Dans la plupart des régions du Canada, l'électricité

est produite par des centrales thermiques alimentées au charbon, au mazout ou au gaz naturel. Dans le cas du chemin de fer, il est relativement plus intéressant d'alimenter les locomotives par des centrales électriques que par des génératrices de bord à moteur diesel qui ont un rendement énergétique moindre et qui sont plus polluantes. Mais, la demande de pointe dans le transport voyageurs interurbain (et de banlieue) coïncide plus ou moins avec les périodes de forte consommation d'électricité domestique, si bien que l'électrification du chemin de fer risquerait d'exacerber les problèmes de surcharge des réseaux aux heures de pointe. Ce n'est bien sûr pas le cas de la propulsion par batteries, puisque ces dernières peuvent être rechargées durant les heures creuses; malheureusement, elles sont coûteuses, relativement peu efficientes et ont une capacité limitée.

L'hydrogène

L'hydrogène est un combustible inoffensif, puisque la vapeur d'eau est le seul produit de sa combustion, ce qui peut le rendre intéressant en milieu urbain. Dans les avions supersoniques, l'hydrogène liquide vaporisé pourrait assurer, outre la propulsion, le refroidissement des surfaces.

Cependant, l'hydrogène ne se trouve pas à l'état naturel. Il est le plus souvent dérivé d'hydrocarbones, surtout du méthane, mais il est moins efficient et dégage plus de dioxyde de carbone que le méthane employé directement comme carburant de transport. L'autre méthode de production de l'hydrogène, c'est-à-dire l'oxydation partielle du charbon, bien qu'attrayante sur le plan financier, pose des problèmes environnementaux encore plus préoccupants. Il n'en demeure pas moins que dans les régions urbaines où la qualité de l'air constitue une menace pour la santé de l'homme, l'hydrogène a un très net avantage en tant que carburant propre, la pollution intervenant en des lieux éloignés, c'est-à-dire là où il est produit. Il est bien sûr possible d'obtenir de l'hydrogène par électrolyse de l'eau, mais ce procédé ne présente aucun avantage quand on emploie de l'électricité générée par des centrales alimentées par des combustibles carbonés ou hydrocarbonés. On pourrait toujours utiliser la production excédentaire d'électricité des centrales nucléaires ou thermiques, qui serait autrement perdue, mais, sous l'effet de la mixité des marchés et de la multiplicité des méthodes de génération d'électricité, il ne serait pas rentable d'exploiter une usine d'électrolyse en ne comptant que sur une énergie excédentaire. En outre, histoire de compliquer un peu plus les choses, les molécules d'hydrogène sont très petites et

très légères, si bien que l'emmagasinage de ce combustible, sous sa forme liquide ou absorbée, fait problème et que les contenants employés sont forcément lourds et encombrants.

La production commerciale de carburant d'hydrogène portable par électrolyse exigerait d'énormes quantités d'énergie. Quelque 46 kW/h seraient nécessaires à la production d'un kilogramme d'hydrogène à l'état gazeux et il faudrait 11 kW/h de plus pour le rendre liquide. Afin de pouvoir rivaliser avec l'hydrogène produit à partir de méthane ou de charbon, il faudrait que l'électricité coûte moins de deux cents du kilowatt/heure. Il est possible, en fin de compte, que l'hydrogène finisse par s'imposer en tant que carburant de transport, mais seulement si l'on parvient à le produire à partir de la fusion nucléaire ou grâce à une autre percée notoire au chapitre de la génération d'électricité, toujours sans doute dans le domaine du nucléaire.

Les carburants hydrocarbonés de substitution

On a accompli de grands progrès dans l'utilisation d'un nombre croissant de carburants hydrocarbonés, notamment des dérivés du charbon, du méthane et du propane. Ces progrès sont déterminants pour garantir la pérennité de ce type de carburant et son accès à un prix abordable; par exemple, des carburants hydrocarbonés aptes à assurer le refroidissement des moteurs, les gaz liquéfiés et certains produits chimiques, utilisés seuls ou en combinaison, pourraient se révéler fort utiles dans le domaine du transport aérien supersonique.

L'EFFET DE SERRE

Il est possible de réduire grandement, voire d'éliminer les émissions les plus nocives produites par les moteurs à combustion interne. Néanmoins, il n'est pas envisageable de débarrasser ces émissions du dioxyde de carbone (pour moitié responsable de l'effet de serre) par des procédés chimiques, et on ne l'envisage d'ailleurs pas pour l'instant. Malheureusement, la concentration de cet élément naturel et autrement nécessaire de l'atmosphère terrestre va croissant. D'aucuns craignent que l'augmentation des niveaux de dioxyde de carbone[3] n'ait un effet néfaste sur les climats de la planète, ce que confirment la simple logique et certaines données climatologiques empiriques. On redoute surtout une désertification accrue et des difficultés croissantes dans le secteur de la production alimentaire. Le problème étant

planétaire, il semble logique de rechercher une solution internationale. Par contre, outre une réduction des émissions de dioxyde de carbone (CO_2) jusqu'à des niveaux tolérables pour la biosphère, on n'envisage aucune solution pratique.

À l'heure actuelle, absolument rien ne nous pousse à étudier ne serait-ce que le phénomène de la fixation chimique du CO_2, et l'on peut douter que les choses changeront avant plusieurs décennies. Rares sont les sources d'émissions importantes (les plus évidentes étant les centrales électriques) qui pourraient se prêter à des méthodes de fixation chimique, et l'on n'entrevoit pas encore de technologies qui ne nécessiteraient pas d'énormes quantités d'énergie pour ce faire. (On suppose que la fixation, dans les technologies en question, reposerait sur l'emploi de carbonate de calcium, qui est contenu dans le calcaire.)

La seule perspective pessimiste, mais inéluctable, qui semble s'offrir à nous est celle d'un engagement limité, mais plus facile, à retirer les produits chimiques causant les pluies acides. Il s'agit là d'un type d'action beaucoup plus visible à l'échelle régionale et locale. Précisons, en passant, que la neutralisation naturelle ou induite par le carbonate de calcium (avec émission résultante de dioxyde de carbone) est actuellement le remède préféré aux effets des pluies acides.

La plantation d'arbres s'impose comme la solution à la mode au problème du CO_2, et l'on en retiendra pour seul exemple les discussions concernant la forêt humide amazonienne. Le reboisement et la reconstitution des sols rouges, bien que tout à fait souhaitables au plan écologique, serviraient à peine à refixer le carbone émis au déboisement. Même si elle n'est pas négligeable, cette solution n'est pas une réponse à long terme aux émissions des combustibles fossiles. Il faut savoir que les forêts à sols rouges parvenues à maturité, comme la forêt amazonienne, ne fixent pas le carbone indéfiniment, sans compter que ce dernier est naturellement rejeté dans l'atmosphère en tant que sous-produit du pourrissement de la végétation. On pourra d'ailleurs s'étonner d'apprendre que le muskeg et les marécages qu'on trouve au Canada parviennent à capturer d'importantes quantités de carbone à long terme, mais pas suffisamment pour résoudre les problèmes que posent les émissions dues aux combustibles fossiles.

Une analyse de ce genre de solution, dans le contexte canadien, peut nous permettre de nous en faire une meilleure idée. Le Canada émet environ 500 millions de tonnes de CO_2 annuellement. À l'échelle de la planète, on parle de 25 milliards de tonnes. Un hectare de pins en pleine croissance, dans les conditions régnant dans le sud de l'Ontario, permettrait de fixer à peine une tonne à une tonne et demie de carbone par an (autrement dit, environ 5 tonnes de CO_2). Or, même au Canada, on ne trouve pas 100 millions d'hectares de terres propices à la plantation de 150 milliards d'arbres, et la conversion de toutes les terres agricoles des Prairies ne nous permettrait d'obtenir que 25 millions d'hectares de forêt.

La solution technique la plus évidente pour supprimer les gaz à effet de serre semble donc être la fixation par le calcaire; reste à savoir comment on pourrait accélérer ou compléter le processus naturel de formation du calcaire sans devoir consommer des quantités exorbitantes d'énergie. Les perspectives économiques d'un tel procédé, tant à l'échelle nationale qu'internationale, sont assez sombres. Il ressort que la société doit envisager l'autre élément de l'équation et répondre à la question suivante : comment réduire les émissions de dioxyde de carbone?

Étant donné le climat canadien et l'état actuel de nos connaissances scientifiques, la seule façon de parvenir à une diminution radicale semble devoir consister à remplacer, à grande échelle, les combustibles actuels par de l'hydrogène produit à l'électricité. Toutefois, cette solution ne peut être acceptable que si l'électricité est produite par des centrales hydro-électriques ou nucléaires; dans tous les cas, la formule demeurerait beaucoup trop coûteuse pour l'économie canadienne seule. Enfin, le transport de passagers non urbain ne contribue que pour environ 7 pour cent aux émissions de dioxyde de carbone au Canada, et pour environ 0,15 pour cent dans le monde entier.

II. L'HORIZON TECHNOLOGIQUE

LES TECHNOLOGIES DE TRANSPORT DE DEMAIN

Il est difficile de prévoir ce que la science nous permettra de réaliser dans l'avenir, et il est encore plus difficile de savoir si telle ou telle technologie sera commercialement viable. Mais que dire de la difficulté d'envisager le

moyen de transport qui sera mis en oeuvre, dans un domaine où les gouvernements ont un rôle si prépondérant, surtout depuis que les applications dans le secteur du transport accusent un très net retard par rapport aux connaissances scientifiques qu'on trouve à la base de ces mêmes applications? Il est donc plus prudent de nous en tenir à une prévision à court terme.

Sauf dans des circonstances exceptionnelles, les possibilités technologiques (autrement dit, la théorie scientifique et les résultats réalisables en laboratoire), précèdent d'une bonne décennie toute application possible dans le domaine du transport. En outre, et surtout en aéronautique, la plupart des travaux de recherche et de développement qui débouchent sur des applications concrètes dans le domaine du transport civil découlent de technologies mises au point par le secteur militaire et par celui de l'exploration spatiale. Ainsi, si l'on suit le cheminement qu'emprunte le développement technologique, en passant par la recherche militaire et spatiale d'abord pour aboutir au transport voyageurs civil, on peut deviner le genre d'applications qui a des chances de dominer. Il est donc logique de conclure ce qui suit, sous réserve que les secteurs de la défense et de l'exploration spatiale conservent leur influence :

- on préférera la vitesse et les performances à l'efficacité, au confort et à l'économie d'énergie, etc.;
- le développement technologique sera axé sur des modes plus souples et moins vulnérables, ne dépendant pas d'infrastructures fixes (les hélicoptères feront donc l'objet de beaucoup plus d'attention que le transport par chemin de fer); et
- ce seront les avions à hautes performances et ceux qui n'exigeront que des pistes courtes, voire aucune piste, qui feront l'objet de plus de recherches.

En matière de développement technologique, le comportement du marché, les conditions réglementaires et surtout les imperfections du marché ont au moins autant d'influence que les découvertes scientifiques et que leurs retombées économiques éventuelles. On ne réalise pas toujours ce qui est techniquement possible et l'on peut passer à côté d'occasions pour des raisons qui n'ont aucun lien avec la technologie en question ni avec ce qu'on peut en dériver. Ainsi, il nous faut reconnaître que l'évolution du milieu du transport public est très en retard dans la mise en oeuvre des technologies de pointe qui se justifient pourtant au plan économique.

Les caractéristiques de coûts et de service d'un mode de transport donné dépendent de la technologie employée, limitée par d'éventuelles contraintes institutionnelles. Dans une industrie où s'exerce normalement la libre concurrence, on ne s'attend pas à trouver un tel décalage entre la conception d'une technologie de pointe rentable et sa mise en oeuvre. Ce genre de hiatus ne peut être attribuable qu'aux coûts élevés d'entrée dans l'industrie, ainsi qu'à l'existence d'un monopole important et de règlements astreignants. Dans le domaine du transport, les coûts d'entrée élevés peuvent être associés à un haut degré de complexité exigeant des cadres d'entreprise une solide expérience du métier et la capacité de faire fonctionner les équipements et le matériel. Ce facteur, associé à la nécessité d'assurer une certaine compatibilité entre transporteurs, conduit à des retards dans l'application des innovations technologiques, tant du côté de l'exploitation que de celui des pratiques commerciales. L'industrie du chemin de fer, où que ce soit dans le monde, est d'ailleurs un exemple flagrant de ce genre de phénomène.

En outre, dans notre société où la libre entreprise est loin de régner, les contraintes réglementaires ou l'intervention des gouvernements sur les marchés ont un effet particulièrement limitatif. Qui plus est, la mise en oeuvre d'innovations technologiques, financières ou commerciales est freinée par le fait que l'État possède une partie des infrastructures ou des systèmes de transport. En général, les investissements effectués dans les entreprises gouvernementales obéissent tout autant à des considérations fiscales et socio-politiques qu'à des principes de rentabilité. Le point de vue des employés en ce qui concerne la sécurité d'emploi a beaucoup de poids, tout comme la perception que les usagers ont de la commodité du service et du prix. Le rendement des investissements auquel peut donner lieu le changement technologique est moins déterminant.

Les considérations de coûts et de performances d'une technologie naissante peuvent avoir moins d'influence que les décisions institutionnelles sur sa mise en oeuvre dans le domaine du transport. En outre, les ressources que les entreprises ou le gouvernement consacreront à la recherche et au développement, afin d'en arriver à une réalité opérationnelle à partir d'une découverte scientifique, jouent un rôle important. Ce genre de démarche est d'ailleurs plus prévisible dans le cas d'un marché d'équipement ouvert et concurrentiel (par exemple, dans le secteur de l'automobile ou dans celui de l'aéronautique) que pour des infrastructures communes (par

exemple, dans le cas des systèmes de contrôle de la circulation aérienne) ou dans le cas des systèmes intégrés à coût d'entrée élevé (comme le maglev).

L'innovation technologique, c'est-à-dire le développement d'une technique opérationnelle à partir de connaissances scientifiques, procède autant du politique que du technique. À court terme, tous les éléments de la société ne bénéficient pas également des percées technologiques, surtout pas de celles qui exigent une forte mobilisation de capitaux et une main-d'oeuvre réduite. Telle structure institutionnelle pourra fort bien encourager et financer certaines innovations et en bloquer d'autres.

L'AVIATION

On s'attend à ce que, dans les années 1990, l'essentiel des travaux de développement dans le domaine des aéronefs à voilure fixe porte sur la réalisation de performances identiques à des coûts d'exploitation moindres. On assistera à un recours accru à des matériaux composites légers, notamment à des alliages plus légers et plus rigides et à des modes de construction en sandwich (synthétique et métal-synthétique). Des voilures révolutionnaires reposant, notamment, sur des procédés de perméabilité contrôlée des surfaces et sur des profils plus épais pourraient permettre d'atteindre des rendements aérodynamiques donnant une portance équivalente, voire supérieure, à celle de structures plus minces et plus légères. Les réacteurs pourraient être plus légers et plus silencieux et offrir un rendement énergétique de 20 pour cent supérieur à ce qu'on connaît actuellement. Mais les propfans (moteurs à hélices à courbure évolutive, ou transsonique) pourraient permettre de réaliser des économies d'énergie encore plus importantes (35 à 40 pour cent par rapport aux réacteurs actuels) à des vitesses de 0,7 ou 0,8 Mach.

Les avions cargo de grande capacité, mis au point pour des applications militaires, pourraient être de plus en plus utilisés dans le civil. Toutefois, d'ici le tournant du siècle, on n'envisage qu'une augmentation limitée de la capacité de transport passagers pour les gros appareils, les versions dérivées du B-747 pouvant offrir jusqu'à 600 places. Mais il y a plus important que la capacité de transport, puisqu'on prévoit que, durant la même période, les exploitants pourront choisir leurs appareils parmi une gamme beaucoup plus étendue de modèles offrant une continuité presque sans

hiatus sur les plans de la vitesse, du rayon d'action et de la capacité d'emport. Les avions à turbopropulseur, comme le Dash 8 de de Havilland, plus adaptés au transport sur courtes distances, pourraient présenter des capacités d'emport supérieures — jusqu'à 100 places — et atteindre des vitesses d'exploitation de 0,6 Mach grâce au propfan.

Les hélicoptères présentent une complexité mécanique intrinsèque excessive et sont relativement lents. On prévoit donc que leur emploi continuera d'être limité aux courtes distances, sauf dans des circonstances exceptionnelles. Les versions civiles de l'avion militaire à rotor basculant devraient être disponibles au début du XXI^{e} siècle. À ce sujet, il est intéressant de remarquer que les Américains ont invoqué les futures applications civiles du prototype militaire pour mettre fin au programme de développement du *Tiltrotor*. Cet appareil, qui peut atteindre 500 km/h, combinera la manoeuvrabilité de l'hélicoptère avec les vitesses de l'avion. Il s'adressera particulièrement au marché de la desserte des centres villes que l'ADAC (avion à décollage et à atterrissage court) n'a pu développer; mais la rentabilité d'une telle opération reste encore à démontrer.

Malgré les déboires de l'avion supersonique de transport américain (SST) et le succès limité du Concorde, on peut s'attendre à ce qu'il y ait une deuxième génération d'avion supersonique. Ce dernier, qui entrerait en service entre l'an 2000 et l'an 2015, volerait à des vitesses de Mach 3, à très haute altitude, sans doute à 75 000 pieds. Grâce à son rayon d'action de plus de 19 000 kilomètres, il serait exclusivement réservé au transport intercontinental, surtout sur les routes transpacifiques. Bien que tout ce raisonnement ne soit que purement hypothétique pour l'instant, on peut avancer que, pour être économique, il faudrait que sa capacité soit supérieure à celle du Concorde et qu'il offre au moins 350 places. Les avions de transport suborbital, pouvant atteindre des vitesses de Mach 5 et plus, ne seraient pas aussi rentables que les avions supersoniques capables de vitesse de Mach 3 ou 3,5. En outre, comme le transport suborbital est une émanation du programme spatial, la mise au point dans le civil de ce genre d'appareil dépendrait entièrement du financement gouvernemental.

Mais les progrès technologiques les plus importants dont bénéficiera l'avion du XXI^{e} siècle risquent de ne pas être évidents pour le néophyte. Toutes les commandes des gros porteurs pourraient être à la fois électriques et mécaniques, et être pilotées par ordinateur. Les gouvernes pourraient faire

l'objet d'une instrumentation et être reliées par fils, sans doute par fibres optiques, à deux ordinateurs de commande. Ce faisant, les pressions aérodynamiques pourraient être détectées, la crédibilité des lectures serait vérifiée grâce à un système d'intelligence artificielle de bord et les ajustements seraient automatiques. Les moteurs pourraient être gérés de la même façon. Tous ces dispositifs, ainsi que les systèmes de navigation de pointe abordés ci-après, pourraient permettre une exploitation n'exigeant que peu voire aucune intervention humaine.

Il ne fait aucun doute que la maintenance connaîtra une mécanisation croissante. Les équipements de test de diagnostic seront de plus en plus répandus et complexes. Les moteurs et les autres éléments mécaniques pourraient être contrôlés, en service, grâce à des sondes micro-électroniques reliées à des ordinateurs intelligents qui établiraient la comparaison entre la situation constatée et les antécédents normaux et anormaux de dégradation des performances. Les cycles de maintenance basés sur le nombre d'heures de vol pourraient être largement remplacés par des systèmes de repérage de début de rupture. Les ordinateurs de bord pourraient intégrer l'état de tous les composants et le personnel de maintenance pourrait disposer d'une liste des travaux à effectuer au moment même de la prise en compte des appareils. Le nombre d'inspections pourrait être nettement réduit, ce qui se traduirait par une diminution des coûts et des heures de maintenance.

On s'attend à ce que l'élément central des systèmes de navigation du XXI^{e} siècle soit constitué par un système global d'identification et de repérage des appareils, reposant sur l'emploi de l'information et de la technologie des satellites. Tous les appareils commerciaux des pays membres pourraient être repérés dans les trois dimensions, à quelques mètres près, grâce à des transpondeurs de bord. Le tout pourrait être couplé à un système anticollision fonctionnant sur le radar de bord de chaque appareil. Les données météorologiques, recueillies par satellite, pourraient être communiquées à chaque appareil par des systèmes d'intelligence artificielle (en fait des *systèmes experts*), en temps réel. Le système d'intelligence artificielle effectuerait le tri des données reçues pour n'afficher sur les écrans de visualisation que les données pertinentes au vol. Bien sûr, ces mêmes renseignements météorologiques parviendraient au système servant au contrôle de la circulation aérienne afin d'actualiser, toujours par l'informatique, les données de pistes en service, d'itinéraires et de priorité à l'atterrissage et au décollage.

Le contact radio entre contrôleurs et pilotes ne s'imposerait plus. Les consignes ou les avis pourraient être affichés dans le poste de pilotage et communiqués directement aux deux ordinateurs de navigation de bord. Ces derniers compareraient automatiquement les données reçues à l'emplacement, à la direction et à la vitesse de l'appareil, et les contrevérifieraient par rapport aux données du système anticollision. L'altitude serait automatiquement mesurée et comparée avec l'altitude calculée par le système de navigation. Ce même système calculerait les corrections nécessaires à effectuer aux commandes pour obtenir les paramètres de vol stipulés et ce, à une consommation de carburant minimale. Toutefois, avant que d'effectuer ces corrections, les systèmes d'intelligence artificielle et le système anticollision seraient automatiquement consultés afin de confirmer l'absence de toute situation dangereuse. L'intervention du pilote à ce stade dépendra grandement de la mesure selon laquelle le public acceptera le principe d'un fonctionnement entièrement automatisé.

Toutes considérations nationalistes et de relations industrielles mises à part, et toute panne d'alimentation électrique et tout acte de terrorisme exceptés, un seul centre de contrôle de la circulation aérienne suffirait pour desservir tout le continent nord-américain. Deux centres du genre, relativement distants l'un de l'autre, permettraient de disposer d'une relève en cas d'incidents graves survenant à l'un ou l'autre des deux emplacements. Ce système permettrait de contrôler la circulation aérienne à distance, au départ et à destination des aéroports desservis. Le système informatique assurerait la planification des trajectoires de vol et, en regard des conditions atmosphériques, prévoirait l'atterrissage de chaque avion à destination, avant même son décollage; tout changement n'intervenant que pour des raisons d'urgence ou de changement météorologique soudain. Ce faisant, les attentes à l'atterrissage seraient presque complètement éliminées et, plus important encore, l'espacement entre les avions serait réduit, ce qui permettrait d'augmenter très nettement la capacité des voies aériennes. Ce genre de technologie sonnerait le glas de la fonction de contrôleur de la circulation aérienne telle qu'on la connaît à l'heure actuelle, et elle permettrait une augmentation des économies de carburant ainsi qu'une amélioration de la sécurité.

Les systèmes de réservation informatisés permettent actuellement de suivre le mouvement de chaque passager. D'ici le tournant du siècle, les systèmes employés devraient être capables d'interpréter les réservations

anticipées en regard de la demande de service, de prévoir l'évolution de la demande et d'ajuster la capacité de transport dans les différentes classes offertes, afin d'optimiser les revenus. Les logiciels de planification du matériel à exploiter, de complexité croissante, pourraient permettre aux transporteurs d'aligner plus étroitement leur capacité sur les fluctuations de la demande. Il devrait s'ensuivre un accroissement du rendement et du coefficient d'occupation.

Côté aérogares, les bagages et le fret seraient conteneurisés et le chargement automatique des appareils permettrait de réduire les temps d'immobilisation. La science du filtrage de sécurité en est encore à des balbutiements et il faut s'attendre à d'importants progrès du côté des technologies de détection à distance des objets et des substances interdites. Les systèmes d'intelligence artificielle pourraient aider au repérage des contrevenants éventuels. D'un autre côté, il faut comprendre que la technologie continuera de servir également ceux qui veulent déjouer le système.

Traditionnellement, l'industrie aéronautique s'est intéressée aux innovations technologiques bien avant que celles-ci ne se justifient sur un plan purement économique. Les constructeurs aéronautiques du monde entier sont fortement subventionnés, directement ou par le biais de programmes de défense. D'ailleurs, aux États-Unis, le développement peut être financé grâce à des projets de défense, comme ce fut le cas du B-707 et comme ce pourrait l'être de l'avion à rotor pivotant et de l'avion suborbital. Peu importe que le Canada subventionne ou non son industrie aéronautique, les transporteurs canadiens auront toujours accès à une technologie ayant publiquement fait l'objet de subventions dans le pays d'origine.

Les progrès technologiques du côté des aérogares sont moins marquants que dans le cas du matériel volant, et le gouvernement n'accorde qu'un soutien limité à la recherche sur ce plan, sauf en ce qui a trait aux critères d'accessibilité pour les personnes handicapées moteur et à la signalisation ainsi qu'aux systèmes d'alarme pour les handicapés auditifs et visuels. Enfin, on pourrait assister à la mise au point de systèmes automatisés d'information et de traduction qui seraient mis en service dans les aéroports publics.

LE TRANSPORT FERROVIAIRE GUIDÉ

Même si l'on connaît, depuis une vingtaine d'années déjà, la technique du transport à suspension magnétique, applicable aux déplacements interurbains, la mise au point et la démonstration de cette technologie demeurent coûteuses et il n'existe aucune application militaire susceptible d'en permettre le financement indirect. Il ne fait aucun doute, cependant, que le train à suspension magnétique (maglev), pouvant atteindre des vitesses de 500 km/h, finira bien par être mis au point. Ce faisant, des véhicules sans chauffeur, pouvant emporter une centaine de passagers, pourraient offrir un service d'une qualité comparable à celle du transport aérien. Un tel système a été conçu au Canada il y a plus de 10 ans déjà, mais il n'a pas été recommandé au point de faire l'objet d'un développement purement canadien. Par contre, ce genre de véhicule existe au stade expérimental et un prototype japonais est en exploitation.

Jusqu'à récemment, on doutait de pouvoir jamais mettre au point un véhicule à suspension magnétique à cause des températures extrêmement basses que l'on croyait nécessaires à l'utilisation des aimants supraconducteurs qui assurent la sustentation. Toutefois, il convient de noter les progrès technologiques importants qui pourraient déboucher sur la mise au point d'une version commerciale du maglev, autrement dit sur la réalisation de supraconducteurs économiques pouvant fonctionner à des températures modérées. On dispose déjà des systèmes de contrôle électronique et du moteur linéaire synchrone. La conception de l'infrastructure est connue, mais elle soulève encore des préoccupations en matière de sécurité. Il est toutefois certain que tous ces problèmes seront résolus à l'étranger, avant même que l'on envisage d'implanter un tel système au Canada.

Un autre type de maglev, très attrayant grâce à ses moteurs synchrones linéaires et permettant de s'affranchir des problèmes de supraconductivité caractéristiques de la suspension magnétique, est en cours d'essai à échelle réelle. On prévoit qu'il sera implanté en Allemagne d'ici l'an 2000 et une liaison Las Vegas-Los Angeles est déjà envisagée.

Des systèmes de transport ferroviaire sans chauffeur, faisant appel à la technologie des moteurs à induction linéaire et étant commandés par ordinateur, ont été conçus et fabriqués au Canada où ils sont actuellement

exploités. La technologie prête à une mise en oeuvre immédiate est celle du transport ferroviaire électrique automatique, à grande vitesse, dans les segments du transport urbain, suburbain et interurbain.

Les trains de voyageurs électrifiés conçus pour rouler à 300 km/h, sont déjà commercialement en service à l'étranger, et on envisage de les adopter aux États-Unis et au Canada. Toutefois, il convient de noter qu'il *ne s'agit pas* là d'une technologie vraiment novatrice. En effet, hormis le recours à la micro-électronique, les trains à haute vitesse actuels et envisagés ne présentent que peu de caractéristiques technologiques qui n'existaient pas déjà il y a un demi-siècle. Notons, toutefois, que l'intégration des caractéristiques d'exploitation de l'infrastructure et des véhicules, dans le domaine du transport ferroviaire, se prête tout particulièrement à l'adoption de systèmes de contrôle automatisés, systèmes rendus possibles grâce à la micro-électronique et à l'informatique.

Quoi qu'il en soit, la micro-électronique n'est pas essentielle au train électrifié à grande vitesse, et des applications encore plus complexes sont courantes dans les procédés modernes de fabrication automatisée (pour ne pas parler des avions de haute technologie et des voitures à la pointe du progrès). Cela ne diminue en rien les mérites du train à grande vitesse, mais il convient de savoir qu'il s'agit d'une technologie existante ayant fait ses preuves. La société du XXI^{e} siècle, aux prises avec la congestion des axes routiers et du ciel, pourrait fort bien choisir de remplacer avions et voitures par un système de technologie plus simple, mais rapide et reposant sur l'emploi d'une infrastructure fixe.

Ainsi, à partir du train à grande vitesse, de technologie relativement modeste, qu'on envisage actuellement dans le corridor Québec-Windsor, le Canada pourrait, d'ici le début du siècle prochain, passer à un train à grande vitesse sans chauffeur. Le train de type maglev, qui devrait être en exploitation dans d'autres pays une dizaine d'années plus tard, ne sera sans doute pas implanté au Canada avant l'an 2020.

LE TRANSPORT PAR ROUTE

Les progrès envisagés à court terme dans la conception routière sont importants sans être des plus spectaculaires. Les nouveaux revêtements devraient être plus résistants, notamment au gel, et plus rigides; certains

produits chimiques pourraient être ajoutés à la couche de surface afin d'empêcher la formation et l'adhérence de la glace noire. Les changements technologiques susceptibles d'avoir une incidence marquée sur le transport routier ne se profileront pas à l'horizon avant très longtemps. Par contre, des routes réservées, entièrement contrôlées par des systèmes de guidage automatique où les véhicules pourraient rouler à haute vitesse et en toute sécurité dans une circulation dense, ne dépassent pas de beaucoup nos capacités technologiques actuelles. Cependant, la fiabilité est loin d'être assurée à cause de la diversité des modèles de véhicules, du facteur humain et du type d'entretien dont ils font l'objet.

On est sur le point de développer des systèmes de guidage qui pourraient être utilisés dans des situations où tous les véhicules ne seraient pas équipés de la même technologie. En effet, la technologie devant permettre d'exploiter des véhicules de plus en plus automatisés sur des routes ordinaires, dans une circulation mixte, c'est-à-dire au milieu de véhicules non équipés de tels systèmes, fait actuellement l'objet de travaux de développement sérieux. Le système envisagé permettrait de repérer les autres véhicules, les objets ainsi que la géométrie de la route; il braquerait les roues et ajusterait la vitesse automatiquement. Néanmoins, l'utilisation projetée dans une circulation mixte à des vitesses relativement différentes pose un défi sur le plan physique, ainsi que des problèmes de sécurité[4].

La recherche dans ce domaine est actuellement axée sur la mise au point de systèmes de guidage automatique ne nécessitant aucune modification des véhicules. On peut, par contre, se demander d'où proviendront les capitaux nécessaires à un tel investissement, même au stade de la mise au point de la technologie, ainsi que pour la création de mécanismes institutionnels efficaces. Outre que les systèmes envisagés permettront de réduire grandement les intervalles entre véhicules, à des vitesses élevées et sans chauffeur à bord, il est peu probable que la conduite automatique ait une incidence importante sur les coûts ou sur les performances du transport routier.

La micro-électronique devrait permettre la mise en service, à des coûts abordables, de systèmes d'imputation des frais aux usagers. Des cartes à mémoire équipant les véhicules, émises lors du renouvellement du certificat d'immatriculation, pourraient être lues par des détecteurs situés en bordure de la route et reliés à des ordinateurs centraux. Les frais pourraient

varier selon la route empruntée, l'heure du jour, la semaine ou l'année[5]. En outre, grâce à des bascules automatiques, aptes à peser les véhicules en mouvement, il serait possible d'intégrer la masse dans le calcul des frais exigés.

L'amélioration de la rentabilité des autocars (interurbains), sur des trajets très fréquentés, passe par l'augmentation de la capacité des véhicules. Or, la capacité et la dimension de ces derniers ont une incidence sur le confort des passagers. Moyennant quelques pouces de plus en largeur, les sièges des autocars pourraient être aussi confortables que ceux du train; malheureusement, si l'on retient la disposition du type «deux places plus une», on perd 22 à 25 pour cent de la capacité d'emport. Comme on n'envisage aucun assouplissement des règlements régissant la largeur des véhicules, du moins pas dans un avenir prévisible, la seule solution semble être de rallonger ou de rehausser les autocars. Si l'on pouvait mettre en service des véhicules d'une centaine de places, il serait possible de réaliser d'importantes économies de main-d'oeuvre et d'améliorer la compétitivité par rapport aux autres modes de transport. Ce faisant, on pourrait accroître le rendement des déplacements interurbains sur de courtes distances, beaucoup plus que par n'importe quelle amélioration technologique envisageable.

La configuration la plus probable semble être l'autocar à étage, mais un véhicule conventionnel de ce type ne pourrait passer sous la plupart des sauts-de-mouton. Des véhicules articulés sont en cours d'essai et l'on a suggéré l'utilisation d'un autocar à deux sections plus remorque. Il serait possible de construire un autocar à impériale (sauf dans sa partie arrière) d'une hauteur inférieure à cinq mètres si l'on abaissait le châssis. Pour obtenir un véhicule de 100 places, il faut avoir recours à un modèle articulé, à étage.

Les systèmes de suspension active et de freins antiblocage conféreraient une telle stabilité à haute vitesse que les autocars de grande taille pourraient être exploités en toute sécurité et en tout confort. De tels véhicules, conduits par des chauffeurs professionnels, se déplaceraient beaucoup plus rapidement que le reste du trafic, sous réserve qu'on leur désigne des voies réservées. La technologie qui permettrait d'améliorer la sécurité des véhicules rapides dans une circulation mixte est tout à fait concevable. Par contre, tant que la mise en oeuvre d'un tel système ne fait pas l'objet d'une volonté politique, on ne pourra pas compter, pour son développement, sur des incitatifs économiques.

Grâce aux derniers progrès technologiques, il serait possible d'augmenter la vitesse des véhicules sans pour autant accroître les dommages occasionnés aux réseaux routiers ni diminuer la sécurité. L'autre solution consiste bien sûr à réduire l'usure et à augmenter la sécurité aux vitesses actuelles. Les systèmes de suspension active (contrôlées par micro-électronique) pourraient permettre d'améliorer le confort des passagers, de réduire la charge dynamique et d'améliorer la stabilité des véhicules. La micro-électronique sera à la base des systèmes antiblocage, des détecteurs de résistance, ainsi que des systèmes de contrôle de la répartition des charges sur les essieux et de régulation automatique de l'espacement entre véhicules. Il ne fait aucun doute que, grâce aux systèmes de freinage intelligents, qui assureront la répartition de l'effort de freinage de chaque roue par détection de la résistance, les autocars et les voitures seront beaucoup plus sûrs.

L'instrumentation et la commande informatisée du moteur et de la boîte de vitesses devraient donner lieu à une amélioration des économies de carburant, au même titre que l'emploi de céramiques favorisant des températures de combustion élevées. Dans la même veine, on peut envisager la possibilité que les moteurs fonctionnent avec des carburants d'indice d'octane beaucoup plus variés qu'à l'heure actuelle (surtout dans le cas des diesels).

Voitures et autocars continuent de faire l'objet d'améliorations ergonomiques. C'est ainsi que les sièges sont plus confortables, que le niveau de bruit est moindre, que les instruments sont numérisés, que les commandes sont électroniques et que le tableau de bord est beaucoup plus fonctionnel. Si l'on ne modifie rien au principe du chauffeur unique et d'une conduite entièrement humaine, l'ergonomie aura un rôle beaucoup plus déterminant dans le transport routier que dans tous les autres modes de transport. Dans le cas des autocars, la commande des systèmes mécaniques et électroniques par micro-informatique pourrait favoriser l'exécution des travaux de maintenance à la demande et améliorer du même coup la fiabilité des véhicules ainsi que le respect des horaires.

Par rapport à l'autocar, il faut s'attendre à ce que l'automobile, à cause de l'important marché qu'elle constitue, fasse l'objet d'investissements de recherche beaucoup plus importants. D'un autre côté, les investissements nécessaires à l'installation d'une technologie de pointe sur les autocars peuvent être amortis plusieurs fois par rapport aux distances parcourues, comparativement à une voiture moyenne, sans compter que la consommation d'essence de cette dernière est nettement inférieure.

Depuis toujours, les modèles novateurs de voitures abondent et il ne fait aucun doute que les projets ne manqueront pas à l'avenir. Malgré quelques tentatives, les petits véhicules n'ont pas réussi à percer. Si des véhicules beaucoup plus petits doivent occuper une place quelconque dans le domaine du transport routier[6], ce sera certainement par le biais d'une diversification progressive des modèles de bas de gamme. Il ne faut donc pas espérer l'arrivée de nouveaux modèles. La seule exception pourrait être celle de véhicules révolutionnaires équipés de moteurs deux temps à combustion interne ou de moteurs à supraconducteurs électriques. Mentionnons qu'un moteur deux temps à trois cylindres pourrait donner lieu à une économie de carburant de 10 pour cent.

Il est possible d'améliorer le rendement énergétique des véhicules de trois façons : par la réduction du poids du véhicule, ce qui a une incidence directe sur l'énergie nécessaire à l'accélération et sur celle qui est consommée au freinage; la diminution du frottement des pneus sur la route (une constante selon le poids du véhicule) et du frottement aérodynamique (traînée) qui dépend du volume occupé par le véhicule et de sa forme et, surtout, de sa vitesse,[7] et l'amélioration du rendement du moteur et des composants mécaniques en général.

Le recours à un dispositif mécanique permettant une meilleure utilisation du volume du véhicule permettrait d'en réduire le poids; c'est ainsi que la traction avant a permis une diminution du poids de 5 à 10 pour cent. En outre, l'emploi limité de l'acier doux et son remplacement par des alliages à haute résistance et par d'autres métaux, surtout l'aluminium, ainsi que par des matériaux synthétiques et composites, devraient donner lieu à une réduction de poids de 10 pour cent d'ici l'an 2010. Il serait possible de réduire le poids des petits véhicules, mais il faut tenir compte de la réticence des utilisateurs à cause de considérations liées à la sécurité des occupants. Et ils n'ont pas tort, puisque la variation de l'inertie des occupants d'un véhicule, lors d'une collision (l'un des principaux facteurs de blessures), est inversement proportionnelle aux poids relatifs des véhicules; toutes choses étant égales par ailleurs, ce sont les occupants du véhicule léger qui sont le plus exposés. Bien sûr, si les deux véhicules sont relativement petits, il n'y a aucune différence.

Bien que d'efficacité thermique relativement limitée, le moteur à pistons ne devrait pas être remplacé par un modèle révolutionnaire avant quelques décennies. Néanmoins, il faut s'attendre à des améliorations. En règle

générale, un moteur à combustion interne présente deux types de handicaps : tout d'abord l'efficacité thermodynamique et la récupération de la chaleur et, deuxièmement, le frottement, mécanique et aérodynamique, lié à la dynamique des fluides (pompage). Au nombre des améliorations envisageables, mentionnons un recours accru au moteur à arbre à cames en tête, aux boîtes de vitesses automatiques à quatre et cinq rapports, à des systèmes de graissage améliorés, à des moteurs à quatre et cinq soupapes par cylindre, à des systèmes à injection multipoints, ainsi qu'à des taux de compression et à des cylindrées à variation automatique. D'ici l'an 2010, ces innovations pourraient déboucher sur une amélioration de l'efficacité thermique de 7 pour cent, sur une diminution des pertes par pompage de 65 pour cent et sur une diminution des pertes par frottement de 40 pour cent. Par contre, même prises dans leur globalité, ces améliorations ne permettront pas de rivaliser avec le moteur diesel qui a un avantage de 20 à 30 pour cent par rapport au moteur à essence.

Les gains dérivés des améliorations sur le plan aérodynamique présentent un potentiel relativement minime, ce qui a une incidence sur l'efficacité énergétique totale envisageable, surtout à des vitesses élevées où la résistance aérodynamique est tellement importante. Dans l'ensemble, au cours des 20 prochaines années, on peut envisager une amélioration de l'économie moyenne de carburant de 50 pour cent, pour chaque type de parc automobile, le plus souvent grâce au retrait des vieux modèles actuellement en circulation. La Commission royale doit essentiellement retenir que l'efficacité énergétique des voitures dans les liaisons interurbaines aura beaucoup moins d'incidence. La plus grande partie des technologies envisagées se fera surtout sentir sur le plan de l'économie de carburant dans les transports urbains et suburbains.

LE TRANSPORT MARITIME

Au cours des dernières années, les traversiers pour passagers exploités sur les deux côtes ont gagné en taille et en vitesse. Compte tenu de l'augmentation de la demande et des coûts réels de la main-d'oeuvre, il faut s'attendre à ce que cette tendance se maintienne. Au Canada, on gagnerait à avoir beaucoup plus recours aux navires à coques multiples et complexes, munis de plans porteurs et étudiés pour les grandes vitesses. Cependant, cette technologie n'est pas nouvelle et les expériences canadiennes dans ce domaine n'ont pas été particulièrement réussies.

L'automatisation trouvera une application toute relative dans le transport maritime. Néanmoins, pour les services de transport passagers, le contrôle des passagers et l'évacuation du navire en cas d'urgence sont deux aspects à ne pas négliger; les accostages sont fréquents et il faut du personnel pour s'occuper des restaurants et assurer les autres services de bord. Donc, les possibilités d'économie de main-d'oeuvre sont moindres. Leurs itinéraires étant limités et le respect des horaires étant des plus importants, les traversiers ont tout à gagner des systèmes de navigation automatisée. Toute la navigation et les manoeuvres pourraient se faire depuis le pont et le rôle de l'équipage pourrait être réduit à de simples fonctions de surveillance, leur intervention directe ne s'imposant que dans des cas exceptionnels.

Les paramètres moteurs seraient contrôlés électroniquement, sans doute grâce à des fibres optiques, et les travaux d'entretien pourraient être planifiés en fonction des problèmes récemment constatés. Les moteurs diesel de marine de conception actuelle peuvent avoir un rendement thermique dépassant 40 pour cent. Or, les céramiques et les températures plus élevées qu'elles permettent pourraient donner lieu à une augmentation de ce rendement, sans compter que les moteurs de ce genre pourraient accepter des carburants très différents et donc moins coûteux.

LE TRANSPORT INTERMODAL

Régulièrement, le transport intermodal inspire les idées les plus originales, qui ne débouchent cependant jamais. Il ne semble pas que le fait de changer de véhicule au cours d'un voyage à plusieurs étapes soit un frein, dans la mesure où le transfert est pratique, la distance à parcourir à pied est courte et où il n'y a aucun retard. Ainsi, plutôt que d'envisager un véhicule exotique, il convient essentiellement d'améliorer la conception des systèmes de transport. C'est grâce à de meilleurs systèmes qu'on en arrivera à des gares passagers de conception novatrice.

La plupart des déplacements interurbains sont du mode intermodal, du type : taxi-marche-escalier roulant-marche-avion-autobus-marche. Dans ce mode de transport, il n'est pas nécessaire que plus d'un transporteur, d'un mode ou d'un véhicule interville intervienne. Il est certain que, dans l'avenir, nombre des liaisons modales en question feront l'objet d'améliorations technologiques, ce qui donnera lieu à une amélioration de la qualité des déplacements. Les noeuds des réseaux (les gares) seront également

améliorés. Mais, dans la prochaine décennie, ce n'est pas dans le transport lui-même qu'on assistera aux améliorations les plus importantes, mais plutôt sur le plan des délais et des activités au niveau même des noeuds de réseau.

Quelques-unes des améliorations attendues comprennent : enregistrement des vols hors de l'aéroport (avant l'embarquement dans la navette de l'aéroport ou dans le train assurant la liaison); manutention intermodale des bagages entre l'origine et la destination; systèmes intermodaux de réservation et de vente des billets. Des systèmes multimodes de planification des horaires en direct permettraient la synchronisation des capacités de transport et des heures de départ des transporteurs, avec les heures et le nombre de passagers à l'arrivée. Ainsi, le système de liaison assurant la desserte de l'aéroport aurait une capacité en rapport avec le nombre de passagers à l'arrivée ainsi que des antécédents de transfert de ces derniers sur les différents modes de transport.

Le tout pourrait reposer sur l'emploi de systèmes informatiques, notamment d'ordinateurs de grande capacité et de logiciels de gestion de systèmes experts et de planification. Le tout conférerait un avantage concurrentiel aux transporteurs multimodaux ainsi qu'aux transporteurs à mode unique travaillant en collaboration et ayant souscrit à ce système. En outre, ces systèmes permettraient de réduire la congestion et d'améliorer la situation dans les grandes gares passagers, et surtout dans les aérogares.

NOTES

1. Le présent aperçu est le résultat d'une ébauche initiale qui a été revue et corrigée avec le concours de spécialistes de la technologie des transports. Une partie des données est extraite de *Canadian Transportation in 2000 and 2015: Environmental Scanning Study*, document rédigé par The Research and Traffic Group pour Transports Canada, ainsi que des mises à jour de ce même document.

2. Les voyageurs évaluent les choix qui s'offrent à eux en fonction du temps total de la liaison entre le point de départ (domicile, bureau, etc.) et le point d'arrivée. On tient compte d'une certaine marge pour les retards prévus à l'arrivée et les écarts par rapport à l'horaire, selon les heures d'arrivée et de départ prévues. À ce propos, seule la vitesse du véhicule intervient.

3. Les véhicules et les systèmes de transport émettent un certain nombre de substances qui contribuent au réchauffement de l'atmosphère et aux changements climatiques annoncés, couramment baptisés *effet de serre*. Il s'agit du méthane, de l'oxyde nitreux, de l'anhydride sulfureux, de l'ozone et des chlorofluorocarbures ainsi que de l'oxyde de carbone, mais le dioxyde de carbone constitue l'émission la plus importante et la plus préoccupante. Bien

que, sur une base unitaire, les autres gaz à effet de serre sont beaucoup plus dommageables pour l'atmosphère, c'est le dioxyde de carbone qui a fait l'objet de la plus grande attention, et à juste titre. Les quantités de CO_2 émises dépassent de loin celles des autres gaz et les possibilités d'atténuer de façon marquée les problèmes que pose le dioxyde de carbone ne sont pas évidentes.

4. Voilà la raison même des limitations inhérentes au transport interurbain par autocar. Les autocars modernes, conduits par des chauffeurs qualifiés, peuvent emprunter la plupart des routes à des vitesses nettement supérieures aux vitesses limites. Dans une circulation mixte, les dépassements et les effets des dépassements sur les conducteurs de véhicules moins sûrs risquent d'avoir un effet négatif sur la sécurité.

5. Les obstacles à la mise en oeuvre d'un tel système ne seront vraisemblablement pas technologiques ni économiques. Mais on peut imaginer qu'un système apte à repérer les véhicules dans l'espace et dans le temps pourrait, s'il était utilisé sans les précautions nécessaires, constituer une invasion de la vie privée.

6. D'aucuns ont recommandé l'adoption de véhicules plus petits pour résoudre les problèmes de congestion de la circulation. Toutefois, tout dépend de la vitesse de ces véhicules, de la réaction des conducteurs et du temps d'arrêt. La longueur du véhicule proprement dite n'a que peu d'importance et il convient de noter que certains petits véhicules tendent à avoir une incidence plutôt négative sur la circulation. Pour ce qui est de la capacité des voies de circulation, l'idéal serait un parc de véhicules de modèle identique.

7. Si, à 25 km/h, la résistance aérodynamique d'une unité (force), celle-ci passe à environ 3,5 dès qu'on double la vitesse pour la porter à 50 km/h. Après un nouveau doublement, c'est-à-dire à 100 km/h, la résistance aérodynamique est augmentée de quatre ou cinq fois. La tendance à accroître la vitesse moyenne des véhicules risque de neutraliser tous les progrès technologiques réalisés en matière de rendement énergétique. Pour se faire une idée de l'importance de cet effet, il suffit de savoir qu'entre 77 et 100 km/h, la consommation de carburant augmente de 20 pour cent. Comme nous l'avons vu, les progrès technologiques devraient permettre la construction de véhicules pouvant se déplacer à des vitesses supérieures sans aucune pénalité sur le plan de la sécurité.

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1992
En vente au Canada chez
votre libraire local
ou par la poste auprès du
Groupe Communication Canada — Édition
Ottawa, Canada K1A 0S9
N° de cat. MAS Z1-1989/1-1992F (série de 4 v.)
N° de catalogue MAS Z1-1989/1-1992-1-2F (v. 1 et 2)
ISBN 0-660-93248-2 (série de 4 v.)
ISBN 0-660-93814-6 (v. 1 et 2)