

Al,1  
G  
793

CENTRE DE DOCUMENTATION  
14 MAR 1999  
SCIENCES ÉCONOMIQUES U. DE M.

Université de Montréal  
Département des sciences économiques

**Analyse avantages-coûts de l'instauration  
de péages électroniques au Québec  
- cas du tunnel Louis-Hyppolite Lafontaine -**

*Rapport de recherche de maîtrise*

LANGLOIS, Simon

Avril 1999

# Table des matières

|   | page |
|---|------|
| Sommaire exécutif   | i    |
| 1. Introduction   |      |
| 1.1 Le problème   | 1    |
| 1.2 L'historique  | 2    |
| 1.3 Le projet   | 5    |
| 2. Énumération des coûts et avantages du projet de péage                |      |
| 2.1 Énumération des coûts   | 7    |
| 2.2 Énumération des avantages   | 9    |
| 3. Les paramètres du projet   |      |
| 3.0 Définition du système retenu et de ses applications                 | 10   |
| 3.1 Les coûts du système  | 12   |
| 3.2 La tarification   | 14   |
| 3.2.1 Les principes   | 14   |
| 3.2.2 La tarification du tunnel Louis-Hyppolite Lafontaine              | 14   |
| 3.2.3 Calcul du coût d'opportunité du temps des utilisateurs            | 18   |
| 3.2.4 Calcul du coût imposé aux infrastructures                         | 20   |
| 3.2.5 La tarification optimale  | 21   |
| 4. Les coûts économiques du projet                                      |      |
| 4.0 Coût de l'augmentation du trafic sur les infrastructures substitués | 22   |
| 4.1 Détermination de l'élasticité-prix en transport pour le projet      | 24   |
| 4.2 Coûts d'opportunité du temps et coûts d'opération des véhicules     | 26   |
| 4.2.1 Temps d'attente   | 26   |
| 4.2.2 Coût d'opportunité du temps                                       | 30   |
| 4.2.3 Coût d'opération des véhicules                                    | 32   |
| 5. Coûts environnementaux du projet                                     |      |
| 5.0 Différentiel des coûts environnementaux                             | 34   |

|   |    |
|---|----|
| 6. Avantages économiques du projet                        |    |
| 6.0 Coût d'opportunité du temps                           | 37 |
| 6.1 Coûts d'opération des véhicules                       | 38 |
| 6.2 Report des réfections prévues sur Louis-H. Lafontaine | 38 |
| 7. Valeur actuelle nette du projet                        |    |
| 7.1 Coûts économiques du projet de péage                  | 41 |
| 7.2 Avantages économiques du projet de péage              | 42 |
| 7.3 Scénarios de la valeur actuelle nette du projet       | 42 |
| 8. Conclusion   | 49 |
| 9. Annexes  |    |
| 9.1 Coûts d'utilisation d'une automobile                  | 51 |
| 9.2 Coûts d'utilisation des véhicules lourds              | 52 |
| 9.3 Calculs des gains / pertes de temps                   | 53 |
| 9.4 Calculs des coûts d'opportunité du temps              | 57 |
| 9.5 Calculs des coûts d'opération des véhicules           | 59 |
| 9.6 Calculs des coûts environnementaux                    | 63 |
| 9.7 Coûts d'utilisation de la route au Québec             | 76 |
| 10. Bibliographie   | 77 |

## Liste des tableaux et graphiques

|  | page |
|--|------|
| <b>Tableau 1.1</b>   |      |
| <i>Consommation de diesel et évolution du kilométrage au Québec</i>      | 4    |
| <b>Tableau 3.1</b>   |      |
| <i>Données statistiques de quelques cartes lecture-écriture</i>          | 13   |
| <b>Graphique 3.2</b>   |      |
| <i>Courbe de délai-déplacement - coût moyen vs coût marginal</i>         | 17   |
| <b>Tableau 3.3</b>   |      |
| <i>Valeur du temps pour les MRC Champlain, Roussillon et Lajemmerais</i> | 18   |
| <b>Tableau 3.4</b>   |      |
| <i>Tarifcation du tunnel Lafontaine</i>                                  | 22   |
| <b>Tableau 4.1</b>   |      |
| <i>Achalandage estimé des ponts de la rive-sud</i>                       | 23   |
| <b>Tableau 4.2</b>   |      |
| <i>Temps d'attente initial journalier du tunnel Lafontaine</i>           | 26   |
| <b>Tableau 4.3</b>   |      |
| <i>Temps d'attente journalier après l'introduction du péage</i>          | 27   |
| <b>Tableau 4.4</b>   |      |
| <i>Économie de temps pour les utilisateurs du pont-tunnel</i>            | 27   |
| <b>Tableau 4.5</b>   |      |
| <i>Différentiel journalier, pont-tunnel Louis-Hyppolite Lafontaine</i>   | 28   |
| <b>Tableau 4.6</b>   |      |
| <i>Temps d'attente initial journalier pour Jacques-Cartier</i>           | 28   |
| <b>Tableau 4.7</b>   |      |
| <i>Temps d'attente journalier après l'introduction du péage</i>          | 28   |
| <b>Tableau 4.8</b>   |      |
| <i>Différentiel journalier, pont Jacques-Cartier</i>                     | 29   |
| <b>Tableau 4.9</b>   |      |
| <i>Temps d'attente initial journalier pour le pont Victoria</i>          | 29   |

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau 4.10</b>   |    |
| <i>Temps d'attente journalier après l'introduction du péage</i>                               | 29 |
| <b>Tableau 4.11</b>   |    |
| <i>Différentiel journalier, pont Victoria</i>   | 30 |
| <b>Tableau 4.12</b>   |    |
| <i>Résumé de l'achalandage estimé de Jacques-Cartier et Victoria avant et après le projet</i> | 31 |
| <b>Tableau 4.13</b>   |    |
| <i>Différentiel des coûts d'opportunité du temps pour Jacques-Cartier et Victoria</i>         | 32 |
| <b>Tableau 4.14</b>   |    |
| <i>Différentiel de coûts d'opération des véhicules pour Jacques-Cartier et Victoria</i>       | 33 |
| <b>Tableau 5.1</b>  |    |
| <i>Différentiel de pollution environnementale</i>   | 36 |
| <b>Tableau 6.1</b>  |    |
| <i>Achalandage estimé avant et après le projet pour L.-H. Lafontaine</i>                      | 37 |
| <b>Tableau 6.2</b>  |    |
| <i>Coûts d'opportunité du temps du pont-tunnel</i>  | 38 |
| <b>Tableau 7.1</b>  |    |
| <i>Courbe volume-accidents</i>  | 40 |
| <b>Tableau 9.1</b>  |    |
| <i>Coûts d'utilisation d'une automobile</i>   | 51 |
| <b>Tableau 9.2</b>  |    |
| <i>Coûts d'utilisation des véhicules lourds</i>   | 52 |
| <b>Tableau 9.7</b>  |    |
| <i>Coûts d'utilisation de la route au Québec</i>  | 76 |

## Sommaire exécutif

L'analyse coûts-bénéfices qui suit se veut une étude quant à la réinstauration possible des péages sur les routes du Québec. Avant toute chose, il est utile de spécifier qu'il s'agit là d'une analyse qui repose sur un équilibre partiel, et, qu'en conséquence, nous utilisons la théorie économique du bien-être avancée par les économistes .

Le cadre de cette étude porte sur la possibilité d'instaurer un péage électronique au pont-tunnel Louis-Hypollite Lafontaine. Ainsi, nous voulons répondre à la question suivante :

**« Du point de vue de l'utilité sociale, doit-on rétablir un système de charge directe aux utilisateurs du pont-tunnel Lafontaine par le biais d'un péage électronique ? »**

Pour ce faire, nous utilisons la méthode coûts-bénéfices. Nous considérons comme bénéfiques les reports de réfections sur le tunnel, les économies annuelles des coûts d'opération et d'opportunité du temps des utilisateurs du tunnel ainsi que la baisse de pollution sur la dite infrastructure. Nous considérons comme coûts les investissements en termes de technologies et d'infrastructures, les différentiels d'entretien et de pollution sur les ponts substitués ainsi que les inconvénients causés aux utilisateurs de ces ponts substitués en termes de coûts d'opération et d'opportunité du temps. L'idée sous-jacente d'un tel projet demeure l'internalisation des coûts externes en proportion directe des impacts créés par le trafic et d'imputer à l'usager le coût des protections contre les nuisances qu'il engendre.

Le but de ce travail est de fournir une base quant à l'éventuelle prise de décision de rétablir les péages au Québec. Ainsi, nous constatons que, d'un point de vue économique, la venue d'un tel projet demeure inefficace étant donné les importantes

répercussions qu'il engendre sur le réseau routier, tant au niveau de la congestion sur les autres ponts que de l'impact sur l'environnement.

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 Le problème

La problématique des routes avoisinant la grande région métropolitaine n'est plus un secret pour personne. La congestion automobile interminable aux heures de pointe combinée à la détérioration graduelle du système autoroutier sur l'ensemble du réseau entourant l'Île de Montréal poussent le gouvernement à réagir. Parmi les solutions qui ont été jusqu'ici envisagées par ce dernier, on note, entre autres, l'introduction d'une voie réservée sur l'A-15 et l'A-13 direction nord. La question que nous nous posons est la suivante: ***Du point de vue de l'utilité sociale, doit-on rétablir un système de charge directe aux utilisateurs du réseau routier avoisinant l'Île de Montréal par le biais de péages électroniques ?*** Plus précisément, nous étudierons le cas du pont-tunnel Louis-Hyppolite Lafontaine.

Pour ce faire, il devient nécessaire de préciser l'utilité économique en cause pour ce problème. On entend ici par fonction d'utilité économique le bien-être collectif de la société québécoise dans son ensemble, issu des utilités individuelles de tous et chacun. De plus, la théorie économique du bien-être (*Mishan 1976, Evans 1977*) stipule que les trois sources d'avantages d'un projet doivent nécessairement provenir soit d'une variation dans le surplus du consommateur ou dans les rentes des facteurs de production, soit dans l'économie des ressources. La section 2 du présent travail est d'ailleurs consacrée à la détermination des avantages et des coûts pour le problème qui nous intéresse.



## 1.2 L'historique

Tout d'abord, le concept de péage routier ne constitue pas une nouveauté au Québec. En effet, le gouvernement, cherchant à rentabiliser ses infrastructures de transport depuis fort longtemps, décida de mettre de l'avant les tous premiers péages au début des années soixante. Utilisant le concept d'utilisateur-payeur, comme la majorité des pays industrialisés de l'époque, le péage conventionnel se voulait l'instrument qui permettrait l'auto-financement d'autres projets tels la construction des routes et des ponts un peu partout à travers la province. Mieux encore, il permettait la sensibilisation quant à la valeur de ces infrastructures auprès des consommateurs. Dans cette optique, quatre autoroutes à péages ont été exploitées au Québec entre 1960 et 1985, soit :

- ⇒ L'autoroute Montréal-Laurentides (A-15), ouverte en 1959 ;
- ⇒ L'autoroute des Cantons de l'est (A-10), ouverte en 1964 ;
- ⇒ L'autoroute Montréal-Berthier (A-40), ouverte en 1967 ;
- ⇒ L'autoroute Chomedey (A-13), ouverte en 1975 .

Cependant, le rêve tourna vite au cauchemar. Les autoroutes à péages connurent des déficits chroniques presque à toutes les années, et ce, principalement pour deux raisons. La première est que la mise en place des péages dits « conventionnels » a nécessité une mise de fonds colossale et qu'à cet égard, les revenus de tarification étaient nettement insuffisants pour espérer rembourser la dette encourue. La deuxième est que parallèlement, on développait un second réseau routier qui faisait en sorte que de plus en plus d'utilisateurs désertaient le réseau payant au profit de ce dernier. Cette absence d'équité et de rationalité qui caractérisait le réseau autoroutier mélangée au refus d'ajuster les tarifs à la hausse fit en sorte que la dette

Profits 5-10 millions

Déficit 3-4 millions  
Entretien insuffisant

globale de l'Office des Autoroutes, la société concessionnaire chargée d'administrer le réseau routier, atteignait 419 millions en 1982. Bien qu'on ait tenté, la même année, de pallier à cet inconvénient en ajustant finalement à 50¢ la tarification d'usage, le péage fut abandonné progressivement entre le 1<sup>er</sup> novembre 1984 et le 2 septembre 1985, pour les raisons ci-haut mentionnées.

↓ Quelques treize années plus tard, nous sommes forcé<sup>p</sup> de constater que la problématique n'est toujours pas résolue. Pire encore, les problèmes d'inéquité ont refait surface, mais sous d'autres formes. En abandonnant les péages en 1985, le gouvernement s'est tourné vers de nombreuses taxes indirectes telles les droits de permis, les taxes sur l'essence ou encore les versements à la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) pour financer les réfections et l'entretien du réseau et ainsi espérer maintenir le navire à flot. Or, seulement 1/6 de ces montants, soit environ un million de dollars, est actuellement transféré au Ministère des Transports, donc injecté là où il devrait être. Nous devons donc envisager une autre solution plus efficace et plus équitable.

— Profit  
Annuel  
→ 94

Conjointement à ce problème, on assiste, et ce depuis 1981, à une augmentation continue de la demande de transport sur les autoroutes au Québec<sup>1</sup>. En fait, plusieurs facteurs d'ordres socio-économiques viennent appuyer cette statistique. Selon les récentes études du Ministère des Transports<sup>2</sup>, cette croissance peut être expliquée notamment par l'étalement urbain en périphérie des villes, l'augmentation de l'emploi chez les femmes ou

<sup>1</sup> Ministère des Transports du Québec, *Identification et condition d'application de nouvelles sources ...*, volume I, 1994, p.12.

<sup>2</sup> Ibid.

encore par les pratiques changeantes de consommation de la part des utilisateurs du système routier québécois. Un autre facteur pouvant expliquer l'achalandage accru des dernières années est l'augmentation significative du transport de marchandises par voie de camionnage. Le tableau 1.1 illustre d'ailleurs cette tendance. Étant donné la stabilité relative des coûts d'utilisation des routes québécoises, nous constatons, entre les années 1982 et 1992, une augmentation des ventes nettes de carburant diesel de près de 48%, et ce, même en présence d'efficience accrue des moteurs. Par conséquent, il ne faut pas s'étonner de voir une évolution du kilométrage autoroutier qui a plus que doublé durant cette même période au Québec.

**Tableau 1.1**  
*Consommation de diesel et évolution du kilométrage au Québec*

| CONSOMMATION DE DIESEL AU QUÉBEC EN<br>MILLIERS DE LITRES |                  | ÉVOLUTION DU KILOMÉTRAGE<br>AUTOROUTIER AU QUÉBEC |                |
|---|------------------|---|----------------|
| ANNÉE   | DIESEL 000'S LT. | ANNÉE   | KM EN '000 000 |
| 1982  | 1,188,978        | 81-82   | 2269           |
| 1983  | 1,305,400        | 82-83   | 2305           |
| 1984  | 1,476,451        | 83-84   | 3107           |
| 1985  | 1,647,306        | 84-85   | 4177           |
| 1986  | 1,751,908        | 85-86   | n.d.           |
| 1987  | 2,009,031        | 86-87   | 4276           |
| 1988  | 2,142,179        | 87-88   | 4436           |
| 1989  | 2,210,953        | 88-89   | 4436           |
| 1990  | 2,179,921        | 89-90   | 4557           |
| 1991  | 2,244,000        | 90-91   | 4577           |
| 1992  | 2,272,617        | 91-92   | 4566           |

**Source : Service des programmes routiers et circulation  
Ministère des Transports du Québec, Juillet 1994**

Le problème est que non seulement un tel phénomène a-t-il un impact énorme sur les artères avoisinant la région métropolitaine, mais que le réseau routier n'a tout simplement plus la capacité pour suffir à la demande toujours

croissante. En 1991, sur les quinze ponts donnant accès au territoire de la CUM, douze d'entre eux ont une réserve de capacité nulle, alors que les trois autres, situés aux extrémités est et ouest de la ville ( Le Gardeur, Galipeault et le pont de l'île aux Tourtes), sont utilisés presque à pleine capacité. Sur le territoire de la CUM, l'A-40 est saturée sur presque toute sa longueur, alors que sur les couronnes sud et nord, les débits de l'A-13, l'A-15 et l'A-20 atteignent leur pleine capacité en de nombreux endroits<sup>3</sup>.

Finalement, la majorité des infrastructures en transport à Montréal ayant été construite vers le milieu des années soixante, soit il y a plus de 30 ans, il n'est pas étonnant de voir une dégradation notable du réseau autoroutier. Ce sont principalement ces raisons qui laissent croire qu'il est important de s'attarder sur le sujet et d'essayer d'en tirer les conclusions qui s'imposent. C'est à ce moment précis qu'une alternative telle le péage électronique devient intéressante à envisager.

### **1.3 Le projet**

Le choix du pont-tunnel Louis-Hyppolite Lafontaine comme sujet de recherche n'est pas laissé au hasard. En effet, il constitue la pierre angulaire du transport sur la rive-sud de Montréal, à la fois pour des milliers d'automobilistes, mais aussi pour des centaines de poids lourds. Ces derniers, en provenance de l'Ontario, se voient obligés d'emprunter le pont-tunnel pour rejoindre les Maritimes, le prolongement de l'A-30 à Brossard étant toujours à l'étude. De ce fait, il s'agit de l'infrastructure la plus sollicitée de la rive-sud, avec un débit journalier moyen de plus de 116 000 véhicules en 1997<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> Ministère des Transports, *Vers un plan de transport*, 1995, p.239.

<sup>4</sup> Ministère des Transports, *Vers un plan de transport*, 1995, carte 19.

À la lumière de ce problème, il est donc intéressant d'envisager la mise en place d'un péage électronique de type ATMS (Advanced traffic management system) sur l'A-25. Il y a plusieurs types ou possibilités de charges directes envisageables pour le problème qui nous concerne. D'entrée de fait, le péage électronique est la voie de l'avenir : il répond aux inconvénients du vétuste péage conventionnel en terme d'infrastructure en ne créant pas d'intrusion visuelle et constitue un système de charge flexible et précis<sup>5</sup>. Il possède comme principal avantage de ne pas limiter la fluidité du trafic, tout en permettant d'appliquer des charges différenciées selon le type de véhicule ou encore la période d'utilisation. En effet, le mode de fixation du tarif est primordial si notre objectif est de normaliser les périodes de pointe. De plus, la tarification optimale mise en vigueur doit intégrer les effets externes négatifs à la charge des utilisateurs, c'est-à-dire les coûts d'exploitation de l'infrastructure en question et les inconvénients sociaux liés aux phénomènes de bouchons de circulation. C'est pourquoi nous utiliserons une **tarification non-linéaire**, en fonction du type de véhicule et des périodes d'utilisation, par opposition à certains systèmes qui préconisent une tarification basée sur le temps passé ou la distance parcourue sur le réseau : le cas de l'A-407 à Toronto est d'ailleurs un exemple de ce type de tarification. Des études sur le sujet<sup>6</sup> ont d'ailleurs démontré que le comportement des automobilistes changeait considérablement selon le type de tarification implanté, soit :

- des heures de départ plus matinales pour éviter des tarifs plus élevés.
- un changement d'itinéraire vers les routes secondaires.
- l'utilisation accrue des transports en commun et des stationnement incitatifs.

---

<sup>5</sup> Ministère des Transports, *Identification et conditions...*, volume I, 1994, p. 65.

<sup>6</sup> Vythoukas, Petros C., *Evaluating the effects of road pricing...*, 1991, p.9.

Finalement, nous verrons que l'élasticité-prix de la demande de transport privé est telle qu'il s'avère primordial de bien planifier les heures de tarification élevée, puisque nous ne voulons pas déplacer mais bien normaliser les heures de pointe. Une section du travail traite de ce sujet précisément.

## 2. ÉNUMÉRATION DES AVANTAGES ET DES COÛTS DU PROJET DE PÉAGE

Comme mentionné précédemment, il est important de bien étudier les répercussions de la mise en place d'un tel projet. Mieux encore, nous devons décider, dans le respect du cadre établi plus tôt, quels seront les bénéfices et les coûts pour la société québécoise, et qu'est-ce qui motive une telle prise en compte.

### 2.1 Énumération des coûts

#### 2.1.1 Investissement initial ( $I_0$ )

L'investissement initial du projet englobe essentiellement tout de qui se rattache à la mise en place du système de péage, en termes d'infrastructures physiques. À noter que le déboursé se fait en une seule année, l'an 1 du projet, soit 1997.

#### 2.1.2 Cartes lecture-écriture

Complémentaire aux lecteurs optiques, balises, etc. compris dans l'investissement initial, les cartes lecture-écriture sont fixées à bord des véhicules, ce qui permet de détecter leur présence à l'approche du péage. Tout comme  $I_0$ , ce sont des coûts imputés à l'utilisation de nouvelles ressources.

### 2.1.3 Coûts variables annuels

Ces coûts sont la dernière composante pour rendre fonctionnel le système de péage électronique. Il s'agit en majeure partie des frais administratifs et de gestion du péage électronique, qui évidemment diffèrent selon le type de système retenu. Ces coûts sont une fois de plus imputables à l'utilisation de nouvelles ressources.

### 2.1.4 Différentiel d'entretien sur les ponts substitués

On prévoit que l'instauration du péage amènera certains utilisateurs à désertier le pont-tunnel par un usage alternatif des autres ponts mis à leur disposition. Dans le cas échéant, on notera une augmentation de la demande pour ces ponts et donc une usure du tablier plus rapide qu'on doit comptabiliser et imputer à la venue du projet de péage.

### 2.1.5 Différentiel de pollution sur les ponts substitués

Les émanations de gaz résultant de la combustion de l'essence ont des impacts significatifs sur l'environnement. Un surplus de voitures sur les ponts Jacques-Cartier et Victoria, donc une augmentation de l'attente en périodes de pointe, se traduit pas une hausse de monoxyde de carbone, d'hydrocarbures et autres dans l'atmosphère. Les différentiels d'entretien et de pollution sont aussi attribuables à l'utilisation de nouvelles ressources.

### 2.1.6 Valeur annuelle de l'inconvénient causé (opportunité du temps et coûts d'opération) aux utilisateurs des ponts substitués.

Pour les mêmes raisons mentionnées un peu plus haut, la venue de nouveaux automobilistes sur les ponts substitués entraîne nécessairement des coûts additionnels pour les utilisateurs de ces ponts substitués, soient en terme de temps ou de coûts d'opération de leur propre véhicule. Ces coûts sont notamment imputables à une variation dans le surplus du consommateur.

## **2.2 Énumération des avantages**

### 2.2.1 Report des réfections sur Louis-Hyppolite Lafontaine

Un peu comme les coûts du différentiel d'entretien sur les ponts substitués, la concrétisation d'une baisse de demande significative sur L.-H. Lafontaine pourrait retarder certains travaux de réfection majeurs sur l'infrastructure. Dans le cas échéant, il s'agirait d'un avantage attribuable à l'économie de ressources.

### 2.2.2 Économie annuelle des coûts d'opération pour les utilisateurs du pont-tunnel.

Selon la tarification qui sera mise en place, il serait possible, voire souhaitable, qu'on note un achalandage moindre sur Louis-Hyppolite Lafontaine de sorte qu'on réduise significativement le temps d'attente en périodes de congestion. Cela aura du même coup une répercussion non-négligeable sur les économies d'essence, d'usure et d'entretien des véhicules automobiles empruntant l'infrastructure.

### 2.2.3 Économie annuelle des coûts d'opportunité du temps pour les utilisateurs du pont-tunnel.

D'une façon similaire, on notera également une économie de temps pour les utilisateurs du tunnel Lafontaine qu'on doit comptabiliser comme un des principaux avantages du projet. Tout comme les coûts d'opération, les coûts d'opportunité sont issus d'une variation dans le surplus de consommateur.

### 2.2.4 Baisse de pollution sur Louis-Hyppolite Lafontaine

Idem à 2.1.5, mais suivant le cheminement inverse.



### 3. LES PARAMÈTRES DU PROJET

#### 3.0 Définition du système retenu et de ses applications

Bien que les systèmes ATMS soient de plus en plus utilisés dans le monde (SR-91 en Californie, A-407 en Ontario, A-5, A-6, A-7 en France, etc.), il est difficile d'évaluer exactement les coûts d'exploitation d'un tel projet, la technologie n'existant que depuis quelques années. De plus, une des particularités de ce type de péage est que les dépenses reliées à l'administration, à la surveillance et au contrôle du système composent la majeure partie des coûts totaux. Or, tout dépendant du type de système de gestion envisagé, les fluctuations peuvent être énormes. On peut néanmoins quantifier les principales dépenses opérationnelles, qui sont regroupées en quatre composantes principales. À noter que l'équipement ci-dessous décrit ne dure que cinq ans, puisqu'on considère que le progrès technologique nous rattrape après ce court laps de temps, et que l'équipement est alors considéré comme étant désuet<sup>7</sup>.

**1<sup>o</sup> Une carte électronique** (en anglais, tag) installée à bord de chaque véhicule utilisant le réseau payant. Présentement dans le monde, il y en a deux types.

---

<sup>7</sup> Ministère des Transports, *Identification et conditions...*, volume I, 1994, annexe C, p. 2.

a) **Modèle retenu** : Type lecture-écriture (en anglais, *read and write tag*)

⇒ Fonctionne selon le principe des cartes de débit, c'est-à-dire la carte calcule le tarif approprié, le déduit du montant en banque et affiche le solde à l'utilisateur.

Principaux avantages : - n'emprunte pas les fréquences radio, donc moins de possibilités d'interférence et plus de fiabilité.  
- un seul lecteur infra-rouge requis pour l'ensemble des voies de l'autoroute.

b) **Modèle rejeté** : Type lecture seulement (en anglais, *read only tag*)

⇒ Fonctionne selon le principe des lecteurs optiques, c'est-à-dire la carte retourne un code d'identification en réponse à un signal infra-rouge.

Principaux inconvénients : - nécessite un lecteur par voie d'autoroute.  
- moins d'autonomie conférée à l'utilisateur, donc plus de frais de gestion et d'administration.  
- limite de vitesse de passage.

**2° Un moyen de contrôle** de la perception (lecteur infra-rouge) qui détecte la présence et conserve une preuve physique de l'identité du véhicule (balises).

**3° Un réseau** reliant les balises à une centrale de gestion de comptes et de prévention des fraudes.

**4° Un moyen de facturation** et de gestion de comptes.

Il nous faudra également étudier les pertes occasionnées à la société. La particularité des problèmes en transport réside dans le fait que ce sont des problèmes de réseau, ou *network*, où il y a inter-relation directe entre plusieurs usagers. Puisque le pont-tunnel Louis-Hyppolite Lafontaine aura un coût d'utilisation plus grand suite au projet de péage, il est fort à parier que certains automobilistes choisiront d'emprunter un autre pont, moins coûteux, comme bien substitut. Nous devons en conséquence être en mesure de quantifier l'effet du détournement de trafic occasionné par le péage électronique sur L.-H. Lafontaine. Et puisque notre étude ne repose pas sur une tarification uniforme du réseau, donc sur un équilibre partiel, ces systèmes de charges directes de type utilisateur-payeur impliqueront vraisemblablement un phénomène de resquillage. Essentiellement, notre étude cherche à démontrer si l'externalité que l'on tente de corriger, en occurrence la congestion du pont-tunnel, est économiquement rentable, en ce sens où elle n'entraînera pas plus d'externalités qu'à sa situation initiale. Comme le démontre la carte 16 en annexe, la dynamique des déplacements en période de pointe matinale provenant de la rive-sud Est se répartit de façon relativement équitable entre les ponts Champlain, Jacques-Cartier, Victoria ainsi que le pont-tunnel. Il nous faudra vérifier l'effet d'une augmentation significative de la demande pour ces ponts substitués suite au projet.

### **3.1 Les coûts du système**

Depuis cinq ans, maintes études ont été réalisées par des entreprises de camionnage, tant au États-Unis qu'au Japon, sur le coût des techniques d'identification automatique des véhicules. Il en ressort que les coûts liés à la mise en place de l'infrastructure sont d'environ 8 000 000 \$. Essentiellement, ce montant comprend le coût des équipements (les balises, lecteurs optiques,

etc.) et tout ce qui se rattache à la mise en place et en réseau des infrastructures (centrale de gestion de compte, prévention de fraude, etc.). En ce qui a trait aux cartes électroniques installées à bord des véhicules, le tableau 3.1 ci-dessous dresse un résumé des différentes technologies, telles qu'étudiées lors de la mise en place du système sur la SR-91, une autoroute à six voies en Californie, plus précisément à Los Angeles.

**Tableau 3.1**  
*Données statistiques de quelques cartes lecture-écriture*

| MANUFATURIER                         | ANTECH    | AT/ COMM  | HUGHES    | X-CYTE     |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| type de signal                       | numérique | numérique | numérique | analogique |
| Tags costs <sup>2</sup>              | 47 \$ CAN | 50 \$ CAN | 59 \$ CAN | 21\$ CAN   |
| Précision lecture <sup>3</sup>       | 99.98     | 99.55     | 100       | 99.90      |
| Précison identification <sup>4</sup> | 99.50     | 100       | 100       | 99.90      |
| Fiabilité <sup>5</sup>               | 99.87     | n.d.      | n.d.      | 100        |
| Capacité lecture/écriture            | non       | oui       | oui       | non        |

2 : en dollars estimés, coût unitaire pour une production de 100 000 unités.

3, 4, 5 : en terme de probabilités estimées.

**Source : Reason Foundation, 1992**

Nous devons également être en mesure de quantifier les coûts variables annuels inhérents au fonctionnement du système. Le MTQ<sup>8</sup> a chiffré ces coûts à 3 000 000\$ par année. Ces coûts étant pour un seul poste, il est fort à parier que l'instauration de deux ou plusieurs autres postes de contrôle diminueraient considérablement les coûts unitaires, puisque l'expérience et l'expertise pour la gestion de ces systèmes seraient un atout majeur à considérer. Par contre, en

---

<sup>8</sup> Ministère des Transports, *Identification et conditions...*, volume II, 1994, p. 31.

choisissant une carte électronique de type lecture-écriture qui ne sollicite qu'un lecteur pour l'ensemble des voies, ces coûts variables ne sont donc pas dédoublés. En effet, le lecteur pourra être installé de manière à ce que les utilisateurs soient identifiés au début du pont-tunnel en direction nord et à la fin, pour ceux en direction sud, ou vice-versa.

## **3.2 La tarification**

### **3.2.1 Les principes**

Il y a bien entendu plusieurs niveaux de tarification possibles dont le niveau optimal de tarification. Entre autres choses, l'optimalité implique les deux principes suivants<sup>9</sup> :

- 1-a) La tarification doit être le reflet du dommage causé aux autres automobilistes empruntant l'infrastructure routière étant donné sa présence.
- 1-b) La tarification doit aussi tenir compte du dommage causé à l'infrastructure par sa présence en vertu du principe de l'utilisateur-payeur.
- 2) On ne doit pas tarifier simplement pour restreindre l'usage d'une infrastructure en absence de congestion : il est sous-optimal de ne pas utiliser pleinement une infrastructure déjà construite.

### **3.2.2 La tarification du tunnel Louis-Hyppolite Lafontaine**

Le tarif optimal est donc celui qui couvre les coûts (1) et qui maintient la

---

<sup>9</sup> Timothy D. Hau, *Economic Fundamentals of ...*, The World Bank, 1992.

circulation juste en deçà du point de saturation en période de pointe. Pour appliquer cette formule au tunnel Lafontaine, dont le point de saturation est 116 134 véhicules par jour (soit l'achalandage de 1997), on s'inspire de deux études américaines<sup>10</sup> qui démontrent qu'un tarif moyen de 3\$ U.S. pour environ 15 km de route réduisait la demande annuelle de transport de l'ordre de 4 à 6%, et de 8 à 12% aux périodes de pointe. Bien qu'il ne s'agisse que d'un indicatif, nous étudierons le cas pour Montréal en gardant en tête l'ordre de grandeur auquel nous devons nous attendre.

Avec les informations çï-haut mentionnées, nous aurons une tarification qui prendra la forme suivante (toujours dans l'optique d'une tarification différenciée selon les périodes de pointe et les périodes hors-pointe) :

**en période de pointe** : tarif = coût imposé aux autres utilisateurs **(a)** +  
coût imposé à l'infrastructure **(b)**

On fixe le tarif dans l'objectif où l'infrastructure est juste saturée. On utilisera, pour ce faire, la formule généralisée par le *Bureau of public roads*<sup>11</sup> pour quantifier les pertes de coûts d'opportunité du temps.

$$T^{bpr}(v) = t_0 [1 + (v/c)^{\tau}]$$

où :  $T^{bpr}$  = temps requis pour franchir le pont en situation de congestion  
(<sup>bpr</sup> signifiant *Bureau of public roads*).

---

<sup>10</sup> The Reason Foundation, *Congestion pricing for Southern California*, 1992.

<sup>11</sup> Bureau of public roads, *Traffic Assignment Manual...*, Washington D.C., 1964.

$t_0$  = temps requis pour franchir l'infrastructure lorsqu'il n'y a pas de congestion.

$v$  = volume de véhicules qui se déplacent sur l'infrastructure.

$c$  = capacité maximale de l'infrastructure.

$\tau$  = paramètre reflétant le degré d'inclinaison de la courbe délai-déplacement

Le paramètre  $\tau$  est inconnu pour Montréal. En fait, ce paramètre est important pour notre étude puisque c'est précisément ce dernier qui détermine le degré de courbure de la courbe délai-déplacement, et donc le temps d'attente en période de congestion. Cependant, étant donné qu'on n'a pas de valeur précise pour ce paramètre, une analyse de sensibilité sera réalisée avec les valeurs  $\tau$  de 6, 8 et 10, valeurs souvent rencontrées dans la littérature.

En multipliant l'équation généralisée par le *Bureau of public roads* par la variable  $v$ , nous obtenons ainsi une formule exprimant le temps de déplacement total des véhicules, soit :

$$\begin{aligned} v T^{bpr}(v) &= v \left\{ t_0 \left[ 1 + (v/c)^\tau \right] \right\} \\ &= vt_0 + t_0 \left[ v^{\tau+1} / c^\tau \right] \end{aligned}$$

Le temps de déplacement marginal, c'est-à-dire le différentiel de temps supplémentaire requis pour franchir l'infrastructure suite à l'addition d'une voiture supplémentaire, se traduit alors par :

$$\partial vT / \partial v = t_0 + t_0(\tau+1) (v/c)^\tau$$

Ainsi, la différence entre cette dernière équation et celle initiale du BPR citée précédemment, multipliée par la valeur moyenne du temps de déplacement,

nous donnera le véritable coût imposé par un véhicule supplémentaire sur le réseau routier :

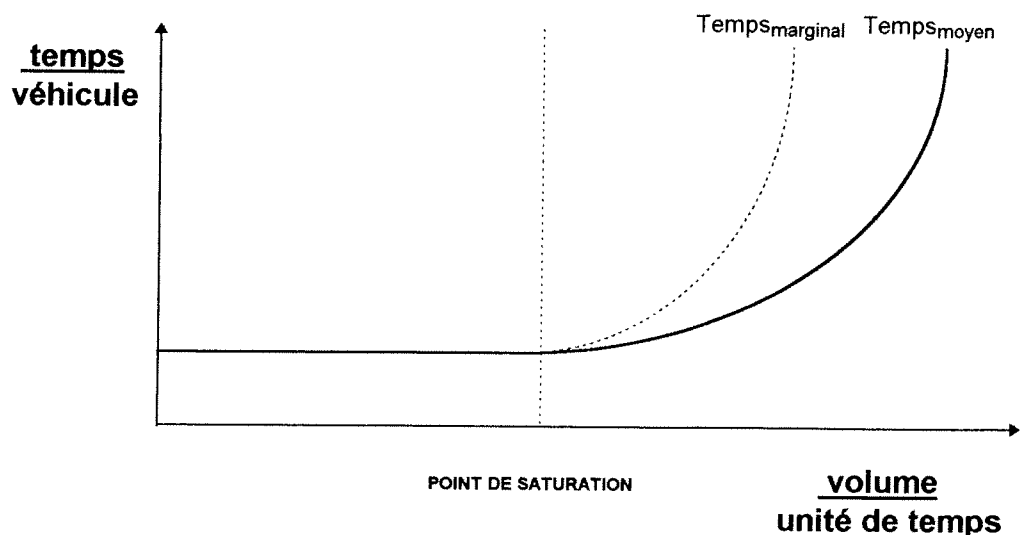
$$\begin{aligned} \text{Coût imposé} &= \left\{ t_0 + t_0 (\tau+1) (v/c)^\tau \right\} - \left\{ t_0 [1 + (v/c)^\tau] \right\} \times \text{valeur du temps} \\ &= \left\{ t_0 (v/c)^\tau [(\tau+1) - 1] \right\} \times \text{valeur du temps} \\ &= \left\{ t_0 (v/c)^\tau \tau \right\} \times \text{valeur du temps} \end{aligned}$$

Sachant que le pont-tunnel Louis-Hyppolite Lafontaine est utilisé à pleine capacité en 1997, nous en concluons que  $v = c$ , donc :

$$\text{Coût imposé} = (t_0 \tau) \times \text{valeur du temps}$$

La courbe délai-déplacement peut être représentée par le graphique 3.2. À noter qu'au delà du point de saturation (celui observé en 1997), l'attente prend une forme exponentielle, typique au problème de congestion.

**Graphique 3.2**  
*Courbe de délai-déplacement - coût moyen vs coût marginal*





À ce moment-ci, il nous est possible de trouver la valeur de  $t_0$  grâce aux données suivantes :

Distance du pont-tunnel, entre l'A-40 et l'A-30, en kilomètres = 16 km environ

Vitesse permise à cet endroit précis = 70 km / heure.

On en déduit qu'il faut 13,71 minutes pour traverser lorsqu'il n'y a pas de congestion. La prochaine section sera donc consacrée à la détermination du coût d'opportunité du temps des utilisateurs.

### 3.2.3 Calcul du coût d'opportunité du temps des utilisateurs

Pour calculer le coût d'opportunité du temps des utilisateurs du pont-tunnel Louis-H. Lafontaine, nous utilisons la méthode présentée dans le tableau 3.3 .

**Tableau 3.3**  
*Valeur du temps pour les MRC Champlain, Roussillon et Lajemmerais*

POUR MOTIF TRAVAIL (EN 1989):

| MRC   | CHAMPLAIN   | ROUSILLON   | LAJEMMERAIS |
|---|-------------|-------------|-------------|
| revenu d'emploi moyen total annuel  | 24380       | 24479       | 28352       |
| revenu d'emploi moyen hebdomadaire  | 468.85      | 470.75      | 545.23      |
| imposition moyenne ( 36 % )   | 168.79      | 169.47      | 196.28      |
| revenu net moyen  | 300.06      | 301.28      | 348.95      |
| heures travaillées (moy. québécoise)  | 36.10       | 36.10       | 36.10       |
| temps moyen pour transport<br>59.3 min / 60 x 2 x 5                         | 9.88        | 9.88        | 9.88        |
| Nombre d'heures associé au travail  | 45.98       | 45.98       | 45.98       |
| Valeur du temps pour motif travail<br>(rev. net moyen / nbre d'heures ass.) | 6.53 \$/hre | 6.55 \$/hre | 7.59 \$/hre |

POUR MOTIF AUTRE (EN 1989) :

| MRC   | CHAMPLAIN                | ROUSILLON                 | LAJEMMERAIS               |
|---|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| rev. disponible par pers. en Montérégie   | 13547                    | 13547                     | 13547                     |
| coefficient de correction<br>rev. tot.moy. MRC/ rev. tot moy. Mo)   | 1.0508                   | 1.07                      | 1.2209                    |
| rev. disponible par personne corrigé<br>hres non-travaillées annuellement<br>(24 hres x 365 jrs) - ( 45.98 x 52 sem.) | 14235<br>6369            | 14495.29<br>6369          | 16539.53<br>6369          |
| Valeur du temps pour motif autre  | 2.24\$/hre               | 2.28\$/hre                | 2.60\$/hre                |
| Valeur du temps pour motif travail  | 6.53 \$/hre              | 6.55 \$/hre               | 7.59 \$/hre               |
| COÛT D'OPPORTUNITÉ TEMPS<br>EN DOLLARS DE 1989  | 8.77\$/hre<br>0.15\$/min | 8.83 \$/hre<br>0.15\$/min | 10.19\$/hre<br>0.17\$/min |

**Source : Office de planification , Montérégie , 1991**

Nous supposons que les utilisateurs du tunnel Lafontaine viennent tous des MRC du tableau 3.3 puisque, pour des raisons de disponibilité des données, il est impossible d'obtenir les coûts d'opportunité des étrangers et des camionneurs de l'Ontario susceptibles d'emprunter l'infrastructure, pour ne nommer que ceux-ci.

En faisant une moyenne avec l'importance de la population pour chaque région, on obtient un coût d'opportunité du temps global de 15,3¢ la minute (incluant la valeur du temps pour le travail et pour les loisirs). Ce coût d'opportunité du temps représente à la fois celui pour les utilisateurs du pont-tunnel, mais aussi pour ceux utilisant Jacques-Cartier et Victoria, puisque les trois MRC retenues couvrent les villes plus au nord comme Boucherville et Longueuil, mais aussi celles plus au sud comme Brossard, La Prairie, etc. Il s'agit en fait d'une estimation pondérée des utilisateurs les plus susceptibles d'emprunter les trois ponts.

Toujours en s'inspirant des scénarios étudiés pour la Californie, nous posons deux hypothèses. La première veut qu'en période de pointe, le seul motif de transport est celui du travail, de sorte que nous obtenons une moyenne de la valeur du temps des résidents des trois MRC les plus près du pont-tunnel se chiffrant à près de 6,80 \$/heure (ou 11¢ la minute). La deuxième stipule que pour avoir une tarification qui est réalisable, nous devons restreindre la valeur du paramètre  $\tau$  à 1, pour obtenir ainsi un coût imposé aux autres usagers de l'ordre de :

$$(a) = (t_0 \tau) \times \text{valeur du temps}$$

$$(a) = 13.71 \text{ min.} \times 0.11 \text{ \$/min.}$$

$$(a) = \$ 1.50$$

### 3.2.4 Calcul du coût imposé aux infrastructures

La meilleure méthode pour quantifier ce coût est celle du *shadow price*, ou méthode des prix de références. Dans ce cas, le budget annuel d'entretien et de réfection du Ministère des Transports du Québec s'avère un excellent indicatif, en autant que l'on connaisse le nombre de kilomètres parcourus annuellement au Québec. Il devient alors facile de trouver un coût / kilomètre pour le réseau québécois. Dans le cas qui nous intéresse, nous avons estimé ce coût à 0.11 \$ le kilomètre (voir le tableau en annexe pour le détail des calculs ). Pour une distance de 16 kilomètres, nous trouvons donc :

$$(b) = 16 \text{ km} \times 0.11 \text{ \$/ km}$$

$$(b) = \$ 1.75$$

### 3.2.5 La tarification optimale

Le tarif optimal est donc de \$3.25 pour emprunter le pont-tunnel, toutes catégories de véhicules confondues. Maintenant, il reste à étudier l'équité entre la tarification des automobiles et des camions. Il paraît évident que ces derniers imposent un *coût beaucoup plus grand à l'infrastructure* étant donné leur poids plus élevé. En conséquence, nous devons trouver un coefficient qui tiendra compte d'un tel phénomène. La norme veut qu'on se réfère à la charge à l'essieu pour fixer ce coefficient. La méthode retenue est donc la suivante : un coût global de 11¢ du kilomètre doit donc être en vigueur. Pour ce faire,

$$0.84x + 0.16y = 0.11$$

où : 0.84 = % d'automobiles sur les routes au Québec

0.16 = % de camions sur les routes au Québec

x = coût imposé par les automobiles

y = coût imposé par les camions

Le Ministère des Transports du Québec rapporte que selon la tarification actuelle en Europe ( France, Italie, Espagne, etc.), on ne peut établir la tarification maximale au-delà de 2,5 fois celle des véhicules légers<sup>12</sup>. Par conséquent, si on pose l'hypothèse que  $y=2x$ , soit un coût relatif deux fois plus élevé pour les camions que pour les automobiles, on retrouve :

---

<sup>12</sup> Ministère des Transports du Québec, *Identification et condition d'application de nouvelles sources ...*, volume III, 1994, p.147.

$$0.84x + 0.16(2x) = 0.11$$

$$x = 9.5\text{¢}, \text{ donc } y = 19\text{¢}$$

Reprenant les calculs, nous trouvons finalement la tarification présentée au tableau 3.4. Il est important de se rappeler que la tarification est différente selon le fait que les utilisateurs empruntent le pont-tunnel en période de pointe ou non. Dans les périodes de pointe, nous calculons la tarification comme fait précédemment ((a)+(b)). Cependant, nous assumons que le coût imposé aux autres utilisateurs (a) en période hors-pointe, c'est-à-dire en période où il n'y a pas de congestion, est très minime. Par conséquent, le tarif comprend seulement le coût imposé à l'infrastructure (b).

**Tableau 3.4**  
*Tarification du tunnel Lafontaine*

|                                    | <b>Période de pointe</b> | <b>Période hors-pointe</b> |
|------------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| <b>Automobiles</b>                 | 3.02 \$                  | 1.52 \$                    |
| <b>Camions à 2, 5 et 8 essieux</b> | 4.54 \$                  | 3.04 \$                    |

#### 4. LES COÛTS ÉCONOMIQUES DU PROJET

##### 4.0 Coût de l'augmentation du trafic sur les infrastructures substitués

Il s'agit ici de mesurer les coûts d'opportunité de l'introduction du tarif sur Louis-Hyppolite Lafontaine. D'entrée de jeu, nous posons l'hypothèse que Jacques-Cartier et Victoria sont les deux seuls biens substitués au pont-tunnel, dans une proportion respective de 2/3 et 1/3. La raison pour laquelle nous ne

considérons pas le transport en commun (métro ou autobus) comme alternative s'explique par le fait suivant : lors de la réfection complète de la chaussée du pont-tunnel il y a quelques années, la Société de transport en commun de la communauté urbaine de Montréal (STCUM) a mis à la disposition des automobilistes plusieurs aires de stationnement incitatif pour qu'ils puissent plus facilement prendre le métro et ainsi éviter les longues files d'attente pour traverser le fleuve. Le résultat de cette initiative a été qu'aucune augmentation significative de la demande de transport en commun n'a été remarquée. Comme quoi une fois le choix de transport (ou l'achat de l'automobile) fait, les individus poursuivent avec ce choix, coûte que coûte.

Le surplus d'utilisateurs empruntant désormais les ponts adjacents implique les trois inconvénients suivant : une détérioration plus rapide des tabliers des ponts Jacques Cartier et Victoria, une période de pointe plus longue ainsi que des coûts d'opération de véhicules plus élevés pour les utilisateurs de ces mêmes ponts. Le tableau 4.1 nous donne les achalandages moyens estimés pour les ponts Louis-Hyppolite Lafontaine, Jacques-Cartier et Victoria pour les cinq années du projet .

**Tableau 4.1**  
*Achalandage estimé des ponts de la rive-sud*

|             | Louis-H. Lafontaine |        |      | Jacques-Cartier | Victoria |
|-------------|---------------------|--------|------|-----------------|----------|
|             | d.j.m.              | p.d.p. | %    | d.j.m.          | d.j.m.   |
| <b>1997</b> | 116 134             | 66 402 | 57.2 | 102 050         | 33 897   |
| <b>1998</b> | 117 701             | 67 653 | 57.5 | 103 428         | 34 354   |
| <b>1999</b> | 119 268             | 68 904 | 57.8 | 104 805         | 34 811   |
| <b>2000</b> | 120 835             | 70 155 | 58.1 | 106 182         | 35 269   |
| <b>2001</b> | 122 402             | 71 406 | 58.4 | 107 559         | 35 726   |

d.j.m. : débit journalier moyen  
p.d.p. : période de pointe

**Source : Ministère des Transports  
Recensement 1984-1995**

#### 4.1 Détermination de l'élasticité-prix en transport pour le projet

Comme il a été dit antérieurement, il est essentiel de connaître l'élasticité-prix de la demande de transport si l'on désire quantifier l'ampleur du détournement de trafic occasionné par l'arrivée d'un péage sur Louis-Hyppolite Lafontaine. Or, certaines études ont été réalisées pour trouver l'élasticité-prix de la demande de transport au Québec. Bien que la plupart d'entre elles soient dédiées aux transports en commun, il appert néanmoins qu'on puisse tirer une moyenne globale pour les autoroutes entourant la grande région métropolitaine. En effet, *Gaudry (1975)*<sup>13</sup> a estimé pour Montréal une élasticité prix oscillant entre -0.14 et -0.16. Pour sa part, *Frankena (1976)*<sup>14</sup> obtient, en utilisant les données de plusieurs villes canadiennes, une élasticité moyenne variant entre -0.33 et -0.38. Comme il est difficile pour les auteurs de s'entendre sur la valeur exacte de l'élasticité-prix pour une ville donnée, on retrouve fréquemment dans la littérature une valeur moyenne de -0.30.

Pour avoir une idée de l'ampleur du transfert de demande vers les infrastructures substitués, nous devons trouver ce qu'il en coûte pour utiliser le pont-tunnel. Outre les frais variables d'utilisation d'une automobile, soient l'essence, l'usure des pneus, l'entretien, etc., il faut également prendre en considération ce qu'il en coûte en frais fixes, c'est-à-dire assurances, immatriculation, permis, etc. Dans un troisième temps, on doit aussi tenir compte du coût annuel d'une automobile en fonction de sa dépréciation. Ces données sont compilées dans les tableaux 9.1 et 9.2 présentés en annexes. Pour se donner un aperçu, CAA Québec<sup>15</sup> estime que l'utilisation d'une voiture

---

<sup>13</sup> Marc Gaudry, *An aggregate time-series analysis ...*, CRT, cahier # 6, 1975.

<sup>14</sup> M.W. Frankena, *Urban Transportation Financing...*, Toronto, 1982.

<sup>15</sup> CAA Québec, *Coûts d'utilisation d'une automobile*, 1998.

classée « intermédiaire » coûte environ 59,7 ¢ du kilomètre. En revanche, on évalue à 58,6 ¢ du kilomètre le coût moyen pour l'ensemble des véhicules dits légers, selon une distance annuelle parcourue de 15 000 kilomètres. Pour Louis-Hyppolite Lafontaine, nous obtenons ( pour une distance de 16 km ):

$$\text{En période de pointe : } \frac{\text{tarification optimale (auto)}}{\text{coût pour franchir L.-H. L.}} = \frac{\$ 3.02}{16 * 58,6} = \frac{\$3.02}{\$9.38} = 0.32$$

$$\begin{aligned} &\text{élasticité-prix * ratio} \\ &-0.30 * 0.32 = 9.66 \% \end{aligned}$$

Ceci démontre donc qu'une hausse de prix de 32% diminuera la demande du pont-tunnel de près de 10 % en période de pointe. Étant donné l'inélasticité de la demande dans les transports, ce résultat concorde bien avec ce qu'on observe aux États-Unis par exemple, soit de 8 à 12 % en périodes de pointe. Évidemment, on suppose que les consommateurs soient rationnels, dans l'optique où ceux qui continueront d'être fidèle au tunnel Lafontaine en récoltent une utilité marginale positive (en terme d'opportunité du temps, d'économie d'essence, etc.) compte tenu du tarif qu'ils doivent déboursier en empruntant l'infrastructure. De la même façon, même si on ne connaît pas la paire origine-destination pour tous les automobilistes, on suppose que ceux qui iront vers les ponts Jacques-Cartier et Victoria ont une valeur du temps et d'opération de leur véhicule inférieure au tarif que l'on exige pour franchir le pont-tunnel.

Ayant préalablement déterminé que la diversion du trafic était de 66 % pour Jacques-Cartier et de 33% pour le pont Victoria, nous en concluons une hausse de demande journalière **en période de pointe** respective de 4276 et 2138 véhicules supplémentaires.

$$\text{En période hors-pointe: } \frac{\text{tarification optimale (auto)}}{\text{coût pour franchir L.-H. L.}} = \frac{\$1.52}{\$9.38} = 0.16$$



$$\begin{aligned} & \text{élasticité-prix} * \text{ratio} \\ & -0.30 * 0.16 = 4.86 \% \end{aligned}$$

De même, une augmentation de 1612 usagers et 806 usagers sera notée pour les ponts Jacques-Cartier et Victoria en **période hors-pointe**. Globalement, cette baisse de demande, de l'ordre de 7.6 %, représente un total de 8832 usagers qui désertent le tunnel Lafontaine.

## 4.2 Coûts d'opportunité du temps et coûts d'opération des véhicules

### 4.2.1 Temps d'attente

Comme nous sommes confrontés à une situation de saturation du réseau routier et puisqu'on désire représenter le plus fidèlement possible le manque à gagner pour les utilisateurs des deux ponts substitués, nous utiliserons la courbe de délai-déplacement pour calculer les inconvénients encourus par l'instauration du système de péage au lieu du surplus du consommateur.

Sous l'hypothèse de coûts d'utilisation constants de l'automobile pour 5 ans, nous pouvons calculer les effets selon la méthode suivante :

**Tableau 4.2**  
*Temps d'attente initial journalier du tunnel Lafontaine (en minutes)*

|      | $\tau=6$ | $\tau=8$ | $\tau=10$ |
|------|----------|----------|-----------|
| 1997 | 27.42    | 27.42    | 27.42     |

Comme mentionné précédemment, le temps d'attente requis pour franchir l'infrastructure en période de congestion équivaut au double du temps nécessaire en période hors-pointe. Comme le ratio v/c est unitaire, nous

obtenons le même temps, peu importe le choix du paramètre  $\tau$ . Ensuite, il est nécessaire de calculer le temps d'attente après l'introduction du projet. Puisque nous avons préalablement calculé le pourcentage de transfert des utilisateurs du pont-tunnel suite à l'introduction du tarif, nous obtenons :

**en période de pointe :**  $9.66\% \times 66\,402$  usagers = 6414 vers les ponts substitués, soient 4276 vers Jacques-Cartier (2/3) et 2138 vers Victoria.

**en période hors-pointe :**  $0.0486 \times (116\,134 - 66\,402) = 2417$  vers les ponts substitués, soient 1611 vers Jacques-Cartier et 806 vers Victoria.

Au total, un transfert de 8 832 usagers permet donc d'écrire, pour 1997, un temps d'attente après introduction du péage de :

$$T^{\text{bpr}}(v) = t_0 [ 1 + (v/c)^\tau ]$$

$$T^{\text{bpr}}(v) = 13.71 [ 1 + (107\,302/116\,134)^\tau ]$$

**Tableau 4.3**

*Temps d'attente journalier après l'introduction du péage (minutes)*

|             | $\tau=6$ | $\tau=8$ | $\tau=10$ |
|-------------|----------|----------|-----------|
| <b>1997</b> | 22.22    | 20.99    | 19.92     |

Nous obtenons donc une économie de temps, en minutes, pour les utilisateurs du pont-tunnel de :

**Tableau 4.4**

*Économie de temps pour les utilisateurs du pont-tunnel (minutes)*

|             | $\tau=6$ | $\tau=8$ | $\tau=10$ |
|-------------|----------|----------|-----------|
| <b>1997</b> | + 5.20   | + 6.43   | + 7.50    |

Suivant la même méthode, nous obtenons le différentiel d'attente pour les cinq années du projet représenté dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 4.5**  
*Différentiel journalier, pont-tunnel Louis-Hyppolite Lafontaine (minutes)*

|             | $\tau=6$ | $\tau=8$ | $\tau=10$ |
|-------------|----------|----------|-----------|
| <b>1997</b> | + 5.20   | + 6.43   | + 7.50    |
| <b>1998</b> | + 5.62   | + 7.16   | + 8.58    |
| <b>1999</b> | + 6.10   | + 7.98   | + 9.80    |
| <b>2000</b> | + 6.61   | + 8.86   | + 11.18   |
| <b>2001</b> | + 7.14   | + 9.84   | + 12.74   |

On peut faire de même pour le surplus de temps occasionné pour les deux ponts substitués. Pour Jacques-Cartier, nous avons une distance approximative de 23 kilomètres entre l'A-30 et l'A-40. De plus, la limite permise est de 70 km/h, ce qui implique un temps de 19.71 minutes pour franchir l'infrastructure. Nous aurons donc, en période de congestion et pour l'année 1997:

**Tableau 4.6**  
*Temps d'attente initial journalier pour Jacques-Cartier (en minutes)*

|             | $\tau=6$ | $\tau=8$ | $\tau=10$ |
|-------------|----------|----------|-----------|
| <b>1997</b> | 39.43    | 39.43    | 39.43     |

$$T^{bpr}(v) = t_0 [ 1 + (v/c)^\tau ]$$

$$T^{bpr}(v) = 19.71 [ 1 + (107\,938/102\,050)^\tau ]$$

**Tableau 4.7**  
*Temps d'attente journalier après l'introduction du péage (minutes)*

|             | $\tau=6$ | $\tau=8$ | $\tau=10$ |
|-------------|----------|----------|-----------|
| <b>1997</b> | 47.31    | 50.58    | 54.25     |

De façon similaire :

**Tableau 4.8**  
*Différentiel journalier, pont Jacques-Cartier (en minutes)*

|             | $\tau=6$ | $\tau=8$ | $\tau=10$ |
|-------------|----------|----------|-----------|
| <b>1997</b> | - 7.88   | - 11.15  | - 14.82   |
| <b>1998</b> | - 8.57   | - 12.46  | - 17.00   |
| <b>1999</b> | - 9.29   | - 13.88  | - 19.44   |
| <b>2000</b> | - 10.07  | - 15.43  | - 22.21   |
| <b>2001</b> | - 10.90  | - 17.15  | - 25.32   |

Finalement, pour le pont Victoria :

- distance de 29 kilomètres entre l'A-30 et l'A-40
- limite permise de 70 km/h implique un temps de 24.86 minutes

**Tableau 4.9**  
*Temps d'attente initial journalier pour le pont Victoria (en minutes)*

|             | $\tau=6$ | $\tau=8$ | $\tau=10$ |
|-------------|----------|----------|-----------|
| <b>1997</b> | 49.71    | 49.71    | 49.71     |

$$T^{bpr}(v) = t_0 [ 1 + (v/c)^\tau ]$$

$$T^{bpr}(v) = 24.86 [ 1 + ( 36\,841 / 33\,897 )^\tau ]$$

**Tableau 4.10**  
*Temps d'attente journalier après l'introduction du péage (minutes)*

|             | $\tau=6$ | $\tau=8$ | $\tau=10$ |
|-------------|----------|----------|-----------|
| <b>1997</b> | 65.84    | 73.26    | 82.03     |

**Tableau 4.11**  
*Différentiel journalier, pont Victoria ( en minutes)*

|             | $\tau=6$ | $\tau=8$ | $\tau=10$ |
|-------------|----------|----------|-----------|
| <b>1997</b> | - 16.13  | - 23.55  | - 32.32   |
| <b>1998</b> | - 17.49  | - 26.26  | - 37.02   |
| <b>1999</b> | - 19.00  | - 29.27  | - 42.39   |
| <b>2000</b> | - 20.68  | - 32.57  | - 48.42   |
| <b>2001</b> | - 22.28  | - 36.18  | - 55.20   |

Il est intéressant de constater que pour le dernier cas, celui du pont Victoria, les délais occasionnés par l'introduction du péage sont beaucoup plus considérables que pour celui de Jacques-Cartier, par exemple. La capacité de ce dernier, de loin plus grande que celle de son voisin du sud, lui confère un net avantage advenant une hausse de demande.

#### 4.2.2 Coût d'opportunité du temps

Le temps représentant un avantage pour le tunnel Lafontaine alors qu'il est un coût pour les ponts Jacques-Cartier et Victoria, nous repoussons à la section 6 le calcul du coût d'opportunité pour le pont-tunnel. Puisque nous connaissons d'emblée l'achalandage et les délais occasionnés pour chacun des deux ponts, et ce pour les années 1997 à 2001 inclusivement, nous utilisons la formule suivante :

$$\text{Valeur du temps} = \sum_{n=1}^5 \frac{(\text{achalandage} \times \text{économie de temps} \times 365) \times \text{coût d'opportunité}}{(1+r)^t}$$

Le tableau ci-dessous représente l'achalandage pour Jacques-Cartier et Victoria après répartition des automobilistes, donc après l'instauration du

péage. Ce sont ces données nettes que nous utiliserons pour calculer les coûts d'opportunité de temps et d'opération des véhicules, en plus du calcul du différentiel de pollution.

**Tableau 4.12**  
Résumé de l'achalandage estimé de Jacques-Cartier et Victoria  
avant et après le projet

| Année | Jacques-Cartier |         | Victoria |        |
|-------|-----------------|---------|----------|--------|
|       | APRÈS           | AVANT   | APRÈS    | AVANT  |
| 1997  | 107 938         | 102 050 | 36 841   | 33 897 |
| 1998  | 109 407         | 103 428 | 37 342   | 34 354 |
| 1999  | 110 874         | 104 805 | 37 846   | 34 811 |
| 2000  | 112 342         | 106 182 | 38 349   | 35 269 |
| 2001  | 113 810         | 107 559 | 38 851   | 35 726 |

Ex : pour le pont Jacques-Cartier et pour  $\tau = 6$

$$\begin{aligned}
 \text{Val. temps} &= \left\{ [ 107\,938 \cdot x - 7.88 \cdot x \cdot 365 \cdot .153 ] \right\} + \\
 &\quad \left\{ [ 109\,407 \cdot x - 8.57 \cdot x \cdot 365 \cdot .153 ] / 1.10^{0.0000} \right\} + \\
 &\quad \left\{ [ 110\,874 \cdot x - 9.29 \cdot x \cdot 365 \cdot .153 ] / 1.10^{0.0001} \right\} + \\
 &\quad \left\{ [ 112\,342 \cdot x - 10.07 \cdot x \cdot 365 \cdot .153 ] / 1.10^{0.0002} \right\} + \\
 &\quad \left\{ [ 113\,810 \cdot x - 10.90 \cdot x \cdot 365 \cdot .153 ] / 1.10^{0.0003} \right\} \\
 &= - 237\,421\,419 \$
 \end{aligned}$$

Source : Tableau 4.12.

Tableau 4.8.

Page 18.

Comme il s'agit d'un projet public financé par les fonds gouvernementaux, nous utilisons le taux général suggéré par Transport Canada. Comme la fonction d'utilité du projet est celle de la province de Québec et puisque le taux comprend la prime de risque du pays, le taux d'actualisation d'un projet du gouvernement québécois devrait normalement être un peu plus élevé.

Ainsi de suite, nous sommes en mesure de calculer tous les gains ou pertes de temps des utilisateurs des ponts associés à la venue du péage. En connaissant leur coût d'opportunité de 0.153 \$ la minute (équivalent à 9.18\$ / heure), il sera alors facile d'en déduire la valeur totale du différentiel de temps d'attente. Le tableau ci-contre dresse le bilan de ce coût d'opportunité pour les deux ponts:

**Tableau 4.13**

*Différentiel des coûts d'opportunité du temps pour Jacques-Cartier et Victoria*

|           | Jacques-Cartier  | Victoria         |
|-----------|------------------|------------------|
| $\tau=6$  | - 237 421 419 \$ | - 165 821 201 \$ |
| $\tau=8$  | - 354 622 813 \$ | - 255 381 131 \$ |
| $\tau=10$ | - 497 837 366 \$ | - 370 428 225 \$ |

#### 4.2.3 Coûts d'opération des véhicules

Utilisant sensiblement la même méthode, nous cherchons à trouver les coûts supplémentaires causés aux utilisateurs des ponts Jacques-Cartier et Victoria occasionnés par le transfert de demande. Les données sur les frais variables d'utilisation d'un véhicule fournies par le CAA Québec s'avèrent alors utiles. Il est à noter cependant que nous n'utiliserons qu'une partie de ces derniers, soit la consommation d'essence et l'entretien. La raison pour laquelle nous omettons d'inclure l'usure des pneus est que la distance parcourue demeure la même ; seulement le temps pour couvrir cette distance change. Toujours sous l'hypothèse que la vitesse moyenne en période de pointe est de 20 kilomètres à l'heure, nous avons :

$$\text{Coûts d'opération} = \sum_{n=1}^5 \frac{(\text{vitesse en p.d.p.} \times \text{délai} \times \text{frais variables}) \times \text{achalandage} \times 365}{(1+r)^t}$$

ex : Jacques-Cartier, 1997 et  $\tau = 6$

$$\begin{aligned}
 (.) = & \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -7.88 \text{ min.}^* \times 0.078\$/\text{km}^{**} \times 107\,938^{***} \times 365 ] \right\} + \\
 & \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -8.57 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 109\,407 \times 365 ] / 1.10 \right\} + \\
 & \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -9.29 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 110\,874 \times 365 ] / 1.10^2 \right\} + \\
 & \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -10.07 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 112\,342 \times 365 ] / 1.10^3 \right\} + \\
 & \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -10.90 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 113\,810 \times 365 ] / 1.10^4 \right\} \\
 = & - 40\,344\,545 \$
 \end{aligned}$$

Procédant de façon identique pour les années suivantes et pour le pont Victoria, nous obtenons les résultats présentés dans le tableau 4.14 ci-dessous.

**Tableau 4.14**

*Différentiel de coûts d'opération des véhicules pour Jacques-Cartier et Victoria*

|           | Jacques-Cartier | Victoria        | Total            |
|-----------|-----------------|-----------------|------------------|
| $\tau=6$  | - 40 344 545 \$ | - 28 178 730 \$ | - 68 523 275 \$  |
| $\tau=8$  | - 60 265 150 \$ | - 43 398 135 \$ | - 103 663 285 \$ |
| $\tau=10$ | - 84 598 970 \$ | - 62 947 170 \$ | - 147 546 140 \$ |

Sources : \* Tableau 4.8.  
 \*\* Annexe 9.1.  
 \*\*\* Tableau 4.12.



## 5. Coûts environnementaux du projet

### 5.0 Différentiel des coûts environnementaux

La raison pour laquelle il est essentiel de s'attarder sur ce sujet est le temps d'attente supplémentaire causé sur les ponts substitués. Il est permis de croire que, tout comme le coût d'opportunité du temps, nous constaterons une augmentation de pollution automobile causée par une utilisation accrue en termes d'heures du système autoroutier.

Il existe quatre principaux polluants émis par les automobiles<sup>16</sup> : l'oxyde d'azote (NO<sub>x</sub>), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et les hydrocarbures (HC), dont les prix de références sont les suivants :

\$ 6 441.21 par tonne de NO<sub>x</sub> ;

\$ 7 577.89 par tonne de CO ;

\$ 817.63 par tonne de CO<sub>2</sub> ;

\$ 8 335 par tonne de HC.

En 1998, la consommation moyenne d'une voiture est d'environ 9.57 litres aux 100 kilomètres<sup>17</sup>. En ayant le temps d'attente supplémentaire sur les ponts Jacques-Cartier et Victoria, nous sommes en mesure d'évaluer la quantité de carburant consommée en surplus, et ainsi pouvoir déterminer l'augmentation de pollution en sachant qu'un litre de carburant dégage dans l'atmosphère :

---

<sup>16</sup> Babin & Roy, *Modalités, externalités et prix de référence...*, 1991.

<sup>17</sup> CAA Québec, *Coûts d'utilisation d'une automobile*, 1998.

16 grammes de NO<sub>x</sub>;  
167 grammes de CO ;  
2 374 grammes de CO<sub>2</sub>;  
22 grammes de HC .

Pour le tunnel Lafontaine, nous avons (exemple pour l'année 1997 et  $\tau = 6$ ) :

Le différentiel obtenu de + 5.20 minutes touchant 107 302 utilisateurs entraîne 9 300 heures de moins passées quotidiennement en période de pointe.

*Période hors-pointe : moyenne de 70 km/h ( vitesse permise )*

*Période de pointe : moyenne de 20 km/h*

Les 3 394 320 heures de moins passées annuellement en période de pointe équivalent, en terme de combustion d'essence, à 67 886 399 kilomètres de moins parcourus, soit :

20 km → 1 heure  
x km → 3 394 320 heures

Sachant que la consommation moyenne, pour une automobile, est de 9.57 litres aux 100 kilomètres (CAA Québec, 1998), nous obtenons un total de 6 496 728 litres d'essence consommés en moins:

9.57 litres → 100 km  
x litres → 67 886 399 km

Ayant préalablement donné les quantités de polluants dégagés suite à la combustion d'un litre d'essence, nous obtenons, pour le pont-tunnel, une diminution annuelle de :

104 tonnes de NO<sub>x</sub> ;  
 1085 tonnes de CO ;  
 15 424 tonnes de CO<sub>2</sub> ;  
 143 tonnes de HC.

D'un point de vue monétaire, ceci représente une économie annuelle de 22 694 240 \$, soit :

669 775 \$ pour le NO<sub>x</sub> ;  
 8 221 990 \$ pour le CO ;  
 12 611 115 \$ pour le CO<sub>2</sub> ;  
 1 191 360 \$ pour le HC.

Procédant de la même façon pour les autres années, et actualisant au taux de 10 %, nous obtenons les résultats présentés dans le tableau 5.1 suivant.

**Tableau 5.1**  
*Différentiel de pollution environnementale*

|           | <b>Louis-H. Lafontaine</b> | <b>Jacques-Cartier</b> | <b>Victoria</b>  | <b>Net</b>       |
|-----------|----------------------------|------------------------|------------------|------------------|
| $\tau=6$  | + 112 854 350 \$           | - 172 905 245 \$       | - 120 761 710 \$ | - 180 812 605 \$ |
| $\tau=8$  | + 147 500 150 \$           | - 258 152 820 \$       | - 185 987 940 \$ | - 296 640 610 \$ |
| $\tau=10$ | + 181 634 585 \$           | - 363 147 990 \$       | - 269 774 420 \$ | - 451 287 825 \$ |

## 6. Avantages économiques du projet

### 6.0 Coût d'opportunité du temps

Utilisant la même formule que pour le calcul des coûts à la section 4.2.2, soit :

$$\text{Valeur du temps} = \sum_{n=1}^5 \frac{(\text{achalandage} \times \text{économie de temps} \times 365) \times \text{coût d'opportunité}}{(1+r)^t}$$

et connaissant le transfert de demande vers les ponts substitués, donc l'achalandage « net » pour les années 1997 à 2001, nous obtenons, pour le pont-tunnel Louis-H. Lafontaine :

**Tableau 6.1**  
*Achalandage estimé avant et après le projet pour L.-H. Lafontaine*

| Louis-Hyppolite Lafontaine |             |         |
|----------------------------|-------------|---------|
| ANNÉE                      | ACHALANDAGE |         |
|                            | APRÈS       | AVANT   |
| <b>1997</b>                | 107 302     | 116 134 |
| <b>1998</b>                | 108 734     | 117 701 |
| <b>1999</b>                | 110 164     | 119 268 |
| <b>2000</b>                | 111 595     | 120 835 |
| <b>2001</b>                | 113 026     | 122 402 |

Ex : pour  $\tau = 6$

$$\text{Val. temps} = \left\{ [ 107\,302 \cdot 5.20 \cdot 365 \cdot .153 ] \right\} +$$

---

Sources : \* Tableau 6.1.  
 ... Tableau 4.5.  
 ... Page 18.

$$\begin{aligned}
& \left\{ [ 108\,734 \times 5.62 \times 365 \times .153 ] / 1.10 \right\} + \\
& \left\{ [ 110\,164 \times 6.10 \times 365 \times .153 ] / 1.10^2 \right\} + \\
& \left\{ [ 111\,595 \times 6.61 \times 365 \times .153 ] / 1.10^3 \right\} + \\
& \left\{ [ 113\,026 \times 7.14 \times 365 \times .153 ] / 1.10^4 \right\} \\
& = 154\,929\,236 \$
\end{aligned}$$

**Tableau 6.2**  
*Coûts d'opportunité du temps du pont-tunnel*

| <b>Louis-Hyppolite Lafontaine</b> |                  |
|-----------------------------------|------------------|
| COÛTS D'OPPORTUNITÉ DU TEMPS      |                  |
| $\tau = 6$                        | + 154 929 236 \$ |
| $\tau = 8$                        | + 202 534 584 \$ |
| $\tau = 10$                       | + 249 403 661 \$ |

### 6.1 Coûts d'opération des véhicules

À l'opposé des usagers des ponts substitués, nous noterons une diminution des coûts d'opération pour les usagers du pont-tunnel. Cependant, bien que ces coûts demeurent un avantage au projet, nous sommes incapables de les quantifier.

### 6.2 Report des réfections prévues sur Louis-H. Lafontaine

Il n'y aura aucune réfection majeure pour les prochaines années<sup>18</sup>. En effet, les réfections suivant l'achalandage (comme les voies d'accès, la chaussée, etc.,

---

<sup>18</sup> Conversation téléphonique avec M. Jacques Lequy, contremaître en chef, 7 avril 1998.

par opposition aux réfections d'entretien et de conservation tels l'éclairage, les fuites aux murs et au plafond, etc.) ayant été réalisées dernièrement, la majorité du budget de 1,5 millions alloué cette année sera consacré à :

- la réparation du plafond en ciment.
- la réparation des fuites aux murs.
- la modernisation des feux de circulation et de la salle de contrôle (ventilation, logistique téléphonique).
- l'entretien des trois bassins de station de pompage (échangeur Hochelaga, Pie-IX).

Il s'agit en fait de réparations d'usage, de sorte qu'on ne prévoit rien de majeur pour les prochaines années, puisqu'on a aussi modernisé l'éclairage dans les 24 derniers mois.

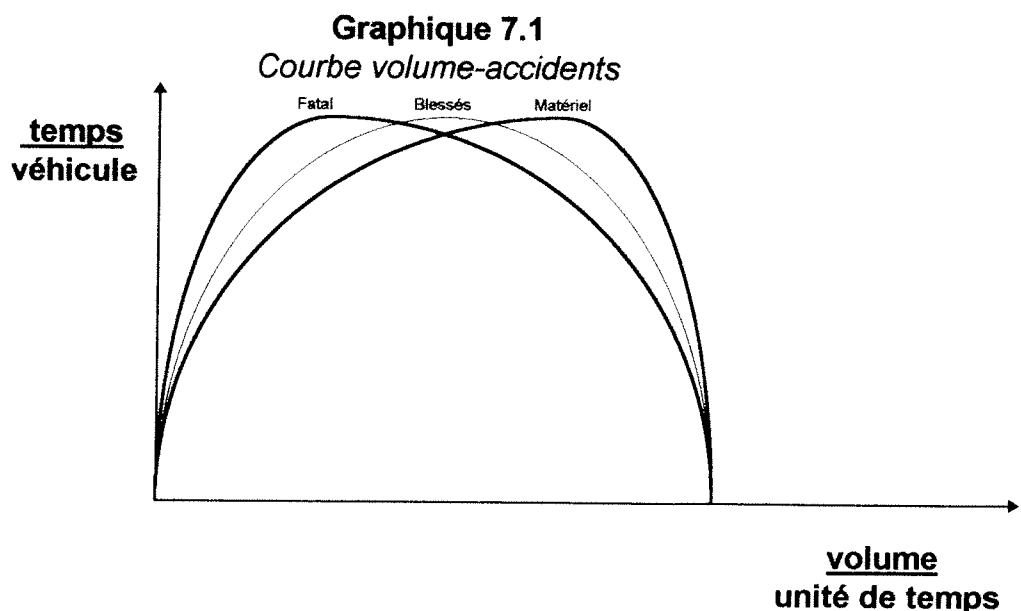
De plus, le remplacement progressif du tablier du pont Jacques-Cartier est déjà commencé<sup>19</sup>. En effet, vu l'état actuel du tablier du pont, deux options de remplacement sont présentement considérées. La première est un tablier conventionnel en béton coulé sur place, une solution moins dispendieuse mais qui implique une importante entrave à la circulation, par opposition à la deuxième qui se veut un tablier préfabriqué en béton contraint. Cette dernière alternative, quoique beaucoup plus dispendieuse, aura beaucoup moins d'effets négatifs sur la circulation. Il est évident qu'une telle réfection, prévue d'ici les deux ou trois prochaines années, donc dans les années qui s'appliquent à notre projet, devrait être prise en compte. En effet, une augmentation du trafic sur le pont Jacques-Cartier accélère ni plus ni moins la détérioration du tablier. Le point de vue est donc le suivant : dans une analyse

---

<sup>19</sup> Société des ponts Champlain et Jacques-Cartier, *rapport annuel 95-96*, p.4.

avantages-coûts comme la nôtre, il est impératif de prendre en compte tous les inconvénients qui puissent surgir suite à la mise en place d'un projet. Inversement, si une telle réfection avait été prévue pour Louis-Hypollite Lafontaine et que, par une diminution considérable de l'achalandage, nous avions pu retarder ce type de travaux, il aurait fallu le calculer comme un avantage au projet. Malheureusement, faute de données et puisque les travaux de Jacques-Cartier sont seulement au stade de l'étude, nous ne pouvons les comptabiliser.

De plus, nous n'avons pu comptabiliser un avantage certain au problème de tarification qui nous concerne. En instaurant une grille tarifaire, le contrecoup d'une augmentation notable du temps pour franchir les infrastructures substitués est la diminution considérable du nombre d'accidents impliquant des blessés. En effet, la saturation des ponts Jacques-Cartier et Victoria impliquera certainement un nombre accru d'accidents matériels, mais la vitesse moyenne pour les franchir s'en trouvant fortement diminuée, il est connu que le risque de perte de vie s'en trouve diminué lui aussi, tel que représenté ci-dessous.



En terme d'ordre de grandeur, il appert que cet avantage créé par la tarification, (diminution de risque de blessés et de pertes de vies humaines) serait aussi grand, en valeur absolue, que l'inconvénient causé en terme de perte de temps occasionnées aux automobilistes. Il n'en demeure que la littérature doit en faire état concrètement avant de l'inclure comme avantage définitif au projet.

## 7. Valeur actuelle nette du projet

Nous pouvons finalement résumer les sections 4,5 et 6, soient les coûts et les avantages du projet, à l'aide des formules suivantes :

### 7.1 Coûts économiques du projet de péage

Investissement<sub>0</sub> +

$$\sum_{n=1}^5 \text{achat des cartes lecture-écriture} / (1+r)^t +$$

$$\sum_{n=1}^5 \text{coûts variables annuels} / (1+r)^t +$$

$$\sum_{n=1}^5 \text{Différentiel annuel d'entretien sur les ponts Jacques-Cartier et Victoria} / (1+r)^t +$$

$$\sum_{n=1}^5 \text{Valeur annuelle de l'inconvénient causé aux utilisateurs des ponts substitués} / (1+r)^t +$$



$$\sum_{n=1}^5 \text{Différentiel annuel de la pollution automobile pour les ponts substitués} / (1+r)^t$$

## 7.2 Avantages économiques du projet

$$\sum_{n=1}^5 \text{report des réfections prévues sur L.-H. Lafontaine} / (1.10)^t +$$

$$\sum_{n=1}^5 \text{économie annuelle des coûts d'opération des utilisateurs de L.-H. Lafontaine} / (1.10)^t +$$

$$\sum_{n=1}^5 \text{économie annuelle des coûts d'opp. du temps des utilisateurs de L.-H. Lafontaine} / (1.10)^t +$$

$$\sum_{n=1}^5 \text{baisse de la pollution automobile annuelle pour L.-H. Lafontaine} / (1.10)^t$$

## 7.3 Scénarios de la valeur actuelle nette (V.A.N.) pour Montréal

Puisque la présente étude repose sur trois scénarios possibles pour la région métropolitaine, soient pour les valeurs du paramètre  $\tau$  de 6, 8 ou 10, les résultats pour ces trois scénarios sont présentés à la page suivante. À noter que les montants concernant l'investissement initial, les coûts variables ainsi que les coûts environnementaux sont en dollars courants de 1991. Ils devront donc être indexés selon l'inflation observée durant la période, soit de 8.4 %

entre 1991 et 1997 <sup>20</sup>. Il en va de même pour les coûts d'opportunité du temps, qui sont donnés en dollars de 1989, et donc indexés de 18.8 % <sup>21</sup>.

**Pour  $\tau = 6$  :**

$$\begin{aligned} \text{Coûts} = & \left[ 8\,000\,000\$ \times 1.084 \right]^* + 1.084 \times \left[ (107\,302 \times 50\$) + \frac{(108\,734 \times 50\$)}{1.10} \right. \\ & \left. + \frac{(110\,164 \times 50\$)}{1.10^2} + \frac{(111\,595 \times 50\$)}{1.10^3} + \frac{(113\,026 \times 50\$)}{1.10^4} + \right]^{**} + \\ & \left[ 12\,509\,596 \$ \times 1.084 \right]^{***} + \left[ 237\,421\,419 \$ \times 1.188 \right]^{****} + \\ & \left[ 165\,821\,201 \$ \times 1.188 \right]^{\bullet} + \left[ 68\,523\,275 \$ \times 0.987 \right]^{\bullet\bullet} + \\ & \left[ 172\,905\,245 \$ \times 1.084 \right]^{\bullet\bullet\bullet} + \left[ 120\,761\,710 \$ \times 1.084 \right]^{****} \end{aligned}$$

**Coûts = 912 048 531 \$**

---

<sup>20</sup> Statistiques Canada, *Guide d'utilisation de l'indice des prix...*, septembre 1998, 40 p.

<sup>21</sup> *Idem*.

Sources :

- \* Page 12 : Investissement initial.
- \*\* Page 13 : Cartes lecture-écriture, technologie de AT/COMM à 50 \$ l'unité, x achalandage annuel
- \*\*\* Page 13 : Coûts variables annuels de 3 millions sur cinq ans.
- \*\*\*\* Tableau 4.13 : Coûts d'opportunité du temps de Jacques-Cartier.
- Tableau 4.13 : Coûts d'opportunité du temps de Victoria.
- \*\* Tableau 4.14 : Coûts totaux d'opération des véhicules pour Jacques-Cartier et Victoria.
- \*\*\* Tableau 5.1 : Différentiel de pollution sur Jacques-Cartier.
- \*\*\*\* Tableau 5.1 : Différentiel de pollution sur Victoria.

$$\text{Avantages} = \left[ 154\,925\,236 \$ \times 1.188 \right]^{\circ} + \left[ 112\,854\,350 \$ \times 1.084 \right]^{\infty} + \sum_{n=1}^5 \text{économie annuelle des coûts d'opération des utilisateurs de L.-H. Lafontaine} / (1.10)^t$$

**Avantages = 306 385 295 \$**

Les économies annuelles des coûts d'opérations des utilisateurs du pont-tunnel étant un avantage théorique au projet mais demeurant inquantifiables, nous obtenons :

|   |
|---|
| <b>Valeur actuelle nette = - 605 663 236 \$</b> |
|---|

Le projet n'est donc pas rentable.

---

Sources <sup>°</sup> Tableau 6.2 : Coûts d'opportunité du temps sur Louis-H. Lafontaine.  
<sup>∞</sup> Tableau 5.1 : Différentiel de pollution sur Louis-H. Lafontaine.

**Pour  $\tau = 8$  :**

$$\begin{aligned} \text{Coûts} = & \left[ 8\,000\,000\$ \times 1.084 \right]^* + 1.084 \times \left[ (107\,302 \times 50\$) + \frac{(108\,734 \times 50\$)}{1.10} \right. \\ & \left. + \frac{(110\,164 \times 50\$)}{1.10^2} + \frac{(111\,595 \times 50\$)}{1.10^3} + \frac{(113\,026 \times 50\$)}{1.10^4} \right]^{**} + \\ & \left[ 12\,509\,596 \$ \times 1.084 \right]^{***} + \left[ 354\,622\,813 \$ \times 1.188 \right]^{****} + \\ & \left[ 255\,381\,131 \$ \times 1.188 \right]^{\bullet} + \left[ 103\,663\,285 \$ \times 0.987 \right]^{\circ} + \\ & \left[ 258\,152\,820 \$ \times 1.084 \right]^{\circ} + \left[ 185\,987\,940 \$ \times 1.084 \right]^{****} \end{aligned}$$

**Coûts = 1 355 517 778 \$**

$$\begin{aligned} \text{Avantages} = & \left[ 202\,534\,584 \$ \times 1.188 \right]^{\circ} + \left[ 147\,500\,150 \$ \times 1.084 \right]^{\circ\circ} + \\ & \sum_{n=1}^5 \text{économie annuelle des coûts d'opération des utilisateurs de L.-H. Lafontaine} / (1.10)^t \end{aligned}$$

- 
- Sources :
- \* Page 12 : Investissement initial.
  - \*\* Page 13 : Cartes lecture-écriture, technologie de AT/COMM à 50 \$ l'unité, x achalandage annuel
  - \*\*\* Page 13 : Coûts variables annuels de 3 millions sur cinq ans.
  - \*\*\*\* Tableau 4.13 : Coûts d'opportunité du temps de Jacques-Cartier.
    - Tableau 4.13 : Coûts d'opportunité du temps de Victoria.
  - \*\* Tableau 4.14 : Coûts totaux d'opération des véhicules pour Jacques-Cartier et Victoria.
  - \*\*\* Tableau 5.1 : Différentiel de pollution sur Jacques-Cartier.
  - \*\*\*\* Tableau 5.1 : Différentiel de pollution sur Victoria.
  - ° Tableau 6.2 : Coûts d'opportunité du temps sur Louis-H. Lafontaine.
  - °° Tableau 5.1 : Différentiel de pollution sur Louis-H. Lafontaine.

**Avantages = 400 501 249 \$**

Les économies annuelles des coûts d'opérations des utilisateurs du pont-tunnel demeurant toujours inquantifiables, nous obtenons :

**Valeur actuelle nette = - 955 016 529 \$**

Le projet n'est donc pas rentable.

**Pour  $\tau = 10$  :**

$$\begin{aligned} \text{Coûts} = & \left[ 8\,000\,000\$ \times 1.084 \right]^* + 1.084 \times \left[ (107\,302 \times 50\$) + \frac{(108\,734 \times 50\$)}{1.10} \right. \\ & \left. + \frac{(110\,164 \times 50\$)}{1.10^2} + \frac{(111\,595 \times 50\$)}{1.10^3} + \frac{(113\,026 \times 50\$)}{1.10^4} + \right]^{**} + \\ & \left[ 12\,509\,596 \$ \times 1.084 \right]^{***} + \left[ 497\,837\,366 \$ \times 1.188 \right]^{****} + \\ & \left[ 370\,428\,225 \$ \times 1.188 \right]^{\bullet} + \left[ 147\,546\,140 \$ \times 0.987 \right]^{\circ} + \\ & \left[ 363\,147\,990 \$ \times 1.084 \right]^{\circ} + \left[ 269\,774\,420 \$ \times 1.084 \right]^{****} \end{aligned}$$

**Coûts = 1 910 284 300 \$**

$$\begin{aligned} \text{Avantages} = & \left[ 249\,403\,661 \$ \times 1.188 \right]^{\circ} + \left[ 181\,634\,585 \$ \times 1.084 \right]^{\circ\circ} + \\ & \sum_{n=1}^5 \text{économie annuelle des coûts d'opération des utilisateurs de L.-H. Lafontaine} / (1.10)^{\dagger} \end{aligned}$$

- 
- Sources :
- \* Page 12 : Investissement initial.
  - \*\* Page 13 : Cartes lecture-écriture, technologie de AT/COMM à 50 \$ l'unité, x achalandage annuel
  - \*\*\* Page 13 : Coûts variables annuels de 3 millions sur cinq ans.
  - \*\*\*\* Tableau 4.13 : Coûts d'opportunité du temps de Jacques-Cartier.
    - Tableau 4.13 : Coûts d'opportunité du temps de Victoria.
  - \*\* Tableau 4.14 : Coûts totaux d'opération des véhicules pour Jacques-Cartier et Victoria.
  - \*\*\* Tableau 5.1 : Différentiel de pollution sur Jacques-Cartier.
  - \*\*\*\* Tableau 5.1 : Différentiel de pollution sur Victoria.
    - ° Tableau 6.2 : Coûts d'opportunité du temps sur Louis-H. Lafontaine.
    - °° Tableau 5.1 : Différentiel de pollution sur Louis-H. Lafontaine.

**Avantages = 493 183 439 \$**

**Valeur actuelle nette = - 1 417 100 861 \$**

Le projet n'est donc pas rentable.

## 8. Conclusion

Notre analyse avantages-coûts comporte une règle à suivre en ce qui concerne l'installation d'un péage électronique sur le pont-tunnel Louis-Hyppolite Lafontaine. Selon les paramètres utilisés, le projet doit être rejeté puisque la valeur actuelle nette est négative, et ce, peu importe le paramètre  $\tau$  choisi. Il semble maintenant évident que les répercussions sur l'ensemble du réseau routier substitut, en l'occurrence les ponts Jacques-Cartier et Victoria, sont beaucoup trop grandes, notamment en ce qui concerne le coût d'opportunité du temps et de l'impact environnemental, pour mettre de l'avant pareil projet .



## ***9. Annexes***

**Tableau 9.1**  
*Coûts d'utilisation d'une automobile*

|                        | <b>Sous-compacte</b>   | <b>Compacte</b>       | <b>Intermédiaire</b>    | <b>Standard</b>         | <b>Camion léger</b>    |
|------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| consommation           | 7.04 litres/<br>100 km | 8.8 litres/<br>100 km | 9.95 litres /<br>100 km | 10.64 litres/<br>100 km | 11.4 litres/<br>100 km |
| <b>FRAIS VARIABLES</b> |                        |                       |                         |                         |                        |
| Essence                | 4.07                   | 5.08                  | 5.75                    | 6.15                    | 6.60                   |
| Entretien              | 1.90                   | 2.22                  | 2.30                    | 2.34                    | 2.59                   |
| Pneus                  | 0.99                   | 1.06                  | 1.09                    | 1.19                    | 1.17                   |
| <b>Total</b>           | <b>6.96¢/km</b>        | <b>8.36¢/km</b>       | <b>9.14¢/km</b>         | <b>9.68¢/km</b>         | <b>10.36¢/km</b>       |
| <b>FRAIS FIXES</b>     |                        |                       |                         |                         |                        |
| <b>Assurances</b>      |                        |                       |                         |                         |                        |
| collision              | 355 \$                 | 389 \$                | 404 \$                  | 464 \$                  | 398 \$                 |
| resp. civile           | 267 \$                 | 277 \$                | 281 \$                  | 308 \$                  | 279 \$                 |
| feu, vol, vanda.       | 178 \$                 | 196 \$                | 202 \$                  | 236 \$                  | 202 \$                 |
| <b>Immatricul.</b>     | 255 \$                 | 255 \$                | 255 \$                  | 255 \$                  | 255 \$                 |
| <b>Permis</b>          | 43 \$                  | 43 \$                 | 43 \$                   | 43 \$                   | 43 \$                  |
| <b>Dépréciation</b>    | 3206 \$                | 4358 \$               | 5188 \$                 | 7242 \$                 | 5439 \$                |
| <b>Financement</b>     | 466 \$                 | 634 \$                | 754 \$                  | 1053 \$                 | 791 \$                 |
| <b>Total</b>           | <b>4770 \$</b>         | <b>6152 \$</b>        | <b>7127 \$</b>          | <b>9601 \$</b>          | <b>7407 \$</b>         |
| <b>Total annuel</b>    | 6162 \$                | 7824 \$               | 8955 \$                 | 11537 \$                | 9479 \$                |
| <b>Par km</b>          | <b>41,1 ¢</b>          | <b>52,2 ¢</b>         | <b>59,7 ¢</b>           | <b>76,9 ¢</b>           | <b>63,2 ¢</b>          |

**Source : CAA Québec, Coûts  
d'utilisation d'une automobile, 1998**

**Tableau 9.2**  
Coûts d'utilisation des véhicules lourds

|                                 | <b>Camions simples à deux essieux</b> | <b>Semi-remorques à cinq essieux</b> | <b>Trains routiers à huit essieux</b> |
|---------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>FRAIS VARIABLES TRACTEUR</b> |                                       |                                      |                                       |
| chauffeur                       | 61.1                                  | 36.6                                 | 45.6                                  |
| carburant                       | 14.6                                  | 23.2                                 | 24.3                                  |
| réparations                     | 16.4                                  | 13.3                                 | 15.8                                  |
| nettoyage                       | 1.0                                   | 0.4                                  | 0.4                                   |
| transport                       | 0.5                                   | 1.1                                  | 1.1                                   |
| pneus                           | 4.3                                   | 3.1                                  | 3.7                                   |
| <b>Total</b>                    | <b>97.6 ¢</b>                         | <b>77.7 ¢</b>                        | <b>90.9 ¢</b>                         |
| <b>FRAIS FIXES TRACTEUR</b>     |                                       |                                      |                                       |
| Amortissement                   | 19.2                                  | 7.8                                  | 8.0                                   |
| Immatriculation                 | 1.2                                   | 1.2                                  | 1.3                                   |
| <b>Total</b>                    | <b>20.4 ¢</b>                         | <b>8.8 ¢</b>                         | <b>9.3 ¢</b>                          |
| <b>FRAIS VARIABLES REMORQUE</b> |                                       |                                      |                                       |
| réparations                     | 0                                     | 6.5                                  | 7.2                                   |
| nettoyage                       | 0                                     | 2.0                                  | 2.1                                   |
| transport                       | 0                                     | 0.7                                  | 0.8                                   |
| pneus                           | 0                                     | 3.2                                  | 4.0                                   |
| <b>Total</b>                    | <b>0 ¢</b>                            | <b>12.4 ¢</b>                        | <b>14.1 ¢</b>                         |
| <b>FRAIS FIXES REMORQUE</b>     |                                       |                                      |                                       |
| Amortissement                   | 0                                     | 1.9                                  | 2.1                                   |
| Immatriculation                 |                                       |                                      |                                       |
| <b>Total</b>                    | <b>0 ¢</b>                            | <b>1.9 ¢</b>                         | <b>2.1 ¢</b>                          |
| <b>TOTAL FRAIS VÉHICULE</b>     | <b>1.07 \$/ km</b>                    | <b>1.01 \$/ km</b>                   | <b>1.16 \$/ km</b>                    |

Source : Association du camionnage du Québec,  
Coûts d'utilisation des véhicules lourds, 1997.

### 9.3 Calculs de gains/ pertes de temps

#### Louis-Hyppolite Lafontaine

**En 1998** : 117 701 usagers, dont 67 653 en période de pointe (p.d.p.)

P.d.p. :  $9.66 \% \times 67\ 653 = 6\ 535$  usagers vers les ponts substitués  
⇒ 4 357 vers Jacques-Cartier  
⇒ 2 178 vers Victoria

Période hors-pointe (p.h.p.) = Achalandage total - période de pointe

P.h.p. :  $4.86 \% \times 50\ 048 = 2\ 432$  usagers vers les ponts substitués  
⇒ 1 622 vers Jacques-Cartier  
⇒ 810 vers Victoria

Au total, 8 967 usagers désertent le pont-tunnel

Demande après le péage :  $T^{bpr} = 13.71(1 + 108\ 734 / 116\ 134)^{\tau}$

Demande avant le péage :  $T^{bpr} = 13.71(1 + 117\ 701 / 116\ 134)^{\tau}$

---

**En 1999** : 119 268 usagers, dont 68 904 en période de pointe (p.d.p.)

P.d.p. :  $9.66 \% \times 68\ 904 = 6\ 656$  usagers vers les ponts substitués  
⇒ 4 437 vers Jacques-Cartier  
⇒ 2 219 vers Victoria

Période hors-pointe (p.h.p.) = Achalandage total - période de pointe

P.h.p. :  $4.86 \% \times 50\ 364 = 2\ 448$  usagers vers les ponts substitués  
⇒ 1 632 vers Jacques-Cartier  
⇒ 816 vers Victoria

Au total, 9 104 usagers désertent le pont-tunnel

Demande après le péage :  $T^{bpr} = 13.71(1 + 110\ 164 / 116\ 134)^{\tau}$

Demande avant le péage :  $T^{bpr} = 13.71(1 + 119\ 268 / 116\ 134)^{\tau}$

---

**En 2000** : 120 835 usagers, dont 70 155 en période de pointe (p.d.p.)

P.d.p. :  $9.66 \% \times 70\ 155 = 6\ 777$  usagers vers les ponts substitués  
⇒ 4 518 vers Jacques-Cartier  
⇒ 2 259 vers Victoria

Période hors-pointe (p.h.p.) = Achalandage total - période de pointe

P.h.p. :  $4.86 \% \times 50\ 680 = 2\ 463$  usagers vers les ponts substitués  
⇒ 1 642 vers Jacques-Cartier  
⇒ 821 vers Victoria

Au total, 9 240 usagers désertent le pont-tunnel

Demande après le péage :  $T^{bpr} = 13.71(1 + 111\ 595 / 116\ 134)^{\tau}$

Demande avant le péage :  $T^{bpr} = 13.71(1 + 120\ 835 / 116\ 134)^{\tau}$

---

**En 2001** : 122 402 usagers, dont 71 406 en période de pointe (p.d.p.)

P.d.p. :  $9.66 \% \times 71\ 406 = 6\ 898$  usagers vers les ponts substitués  
⇒ 4 599 vers Jacques-Cartier  
⇒ 2 299 vers Victoria

Période hors-pointe (p.h.p.) = Achalandage total - période de pointe

P.h.p. :  $4.86 \% \times 50\ 996 = 2\ 478$  usagers vers les ponts substitués  
⇒ 1 652 vers Jacques-Cartier  
⇒ 826 vers Victoria

Au total, 9 376 usagers désertent le pont-tunnel

Demande après le péage :  $T^{bpr} = 13.71(1 + 113\ 026 / 116\ 134)^{\tau}$

Demande avant le péage :  $T^{bpr} = 13.71(1 + 122\ 402 / 116\ 134)^{\tau}$

---

## Jacques-Cartier

**En 1998** : 103 428 usagers

Il y a un transfert de 5 979 usagers provenant du pont-tunnel

Demande avant le péage :  $T^{bpr} = 19.71( 1 + 103\,428 / 102\,050 )^{\tau}$

Demande après le péage :  $T^{bpr} = 19.71( 1 + 109\,407 / 102\,050 )^{\tau}$

---

**En 1999** : 104 805 usagers

Il y a un transfert de 6 069 usagers provenant du pont-tunnel

Demande avant le péage :  $T^{bpr} = 19.71( 1 + 104\,805 / 102\,050 )^{\tau}$

Demande après le péage :  $T^{bpr} = 19.71( 1 + 110\,874 / 102\,050 )^{\tau}$

---

**En 2000** : 106 182 usagers

Il y a un transfert de 6 160 usagers provenant du pont-tunnel

Demande avant le péage :  $T^{bpr} = 19.71( 1 + 106\,182 / 102\,050 )^{\tau}$

Demande après le péage :  $T^{bpr} = 19.71( 1 + 112\,342 / 102\,050 )^{\tau}$

---

**En 2001** : 107 559 usagers

Il y a un transfert de 6 251 usagers provenant du pont-tunnel

Demande avant le péage :  $T^{bpr} = 19.71( 1 + 107\,559 / 102\,050 )^{\tau}$

Demande après le péage :  $T^{bpr} = 19.71( 1 + 113\,810 / 102\,050 )^{\tau}$

---

## Victoria

**En 1998** : 34 354 usagers

Il y a un transfert de 2 988 usagers provenant du pont-tunnel

Demande avant le péage :  $T^{bpr} = 24.86( 1 + 34\ 354 / 33\ 987 )^{\tau}$

Demande après le péage :  $T^{bpr} = 24.86( 1 + 37\ 342 / 33\ 987 )^{\tau}$

---

**En 1999** : 34 811 usagers

Il y a un transfert de 3 035 usagers provenant du pont-tunnel

Demande avant le péage :  $T^{bpr} = 24.86( 1 + 34\ 811 / 33\ 987 )^{\tau}$

Demande après le péage :  $T^{bpr} = 24.86( 1 + 37\ 846 / 33\ 987 )^{\tau}$

---

**En 2000** : 35 269 usagers

Il y a un transfert de 3 080 usagers provenant du pont-tunnel

Demande avant le péage :  $T^{bpr} = 24.86( 1 + 35\ 269 / 33\ 987 )^{\tau}$

Demande après le péage :  $T^{bpr} = 24.86( 1 + 38\ 349 / 33\ 987 )^{\tau}$

---

**En 2001** : 35 726 usagers

Il y a un transfert de 3 125 usagers provenant du pont-tunnel

Demande avant le péage :  $T^{bpr} = 24.86( 1 + 35\ 726 / 33\ 987 )^{\tau}$

Demande après le péage :  $T^{bpr} = 24.86( 1 + 38\ 851 / 33\ 987 )^{\tau}$

---

#### 9.4 Calculs des coûts d'opportunité du temps

##### Louis-Hyppolite Lafontaine

Pour  $\tau = 8$

$$\begin{aligned}\text{Val. temps} &= \left\{ [ 107\,302 \times 6.43 \times 365 \times .153 ] \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 108\,734 \times 7.16 \times 365 \times .153 ] / 1.10 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 110\,164 \times 7.98 \times 365 \times .153 ] / 1.10^2 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 111\,595 \times 8.86 \times 365 \times .153 ] / 1.10^3 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 113\,026 \times 9.84 \times 365 \times .153 ] / 1.10^4 \right\} \\ &= 202\,534\,584 \$\end{aligned}$$

---

Pour  $\tau = 10$

$$\begin{aligned}\text{Val. temps} &= \left\{ [ 107\,302 \times 7.50 \times 365 \times .153 ] \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 108\,734 \times 8.58 \times 365 \times .153 ] / 1.10 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 110\,164 \times 9.80 \times 365 \times .153 ] / 1.10^2 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 111\,595 \times 11.18 \times 365 \times .153 ] / 1.10^3 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 113\,026 \times 12.74 \times 365 \times .153 ] / 1.10^4 \right\} \\ &= 249\,403\,661 \$\end{aligned}$$

---



## Jacques-Cartier

**Pour  $\tau = 8$**

$$\begin{aligned}\text{Val. temps} &= \left\{ [ 107\,938 \times -11.15 \times 365 \times .153 ] \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 109\,407 \times -12.46 \times 365 \times .153 ] / 1.10 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 110\,874 \times -13.88 \times 365 \times .153 ] / 1.10^2 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 112\,342 \times -15.43 \times 365 \times .153 ] / 1.10^3 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 113\,810 \times -17.15 \times 365 \times .153 ] / 1.10^4 \right\} \\ &= - 354\,622\,813 \$\end{aligned}$$

---

**Pour  $\tau = 10$**

$$\begin{aligned}\text{Val. temps} &= \left\{ [ 107\,938 \times -14.82 \times 365 \times .153 ] \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 109\,407 \times -17.00 \times 365 \times .153 ] / 1.10 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 110\,874 \times -19.44 \times 365 \times .153 ] / 1.10^2 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 112\,342 \times -22.21 \times 365 \times .153 ] / 1.10^3 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 113\,810 \times -25.32 \times 365 \times .153 ] / 1.10^4 \right\} \\ &= - 497\,837\,366 \$\end{aligned}$$

---

## Victoria

**Pour  $\tau = 6$**

$$\begin{aligned}\text{Val. temps} &= \left\{ [ 36\,841 \times -16.13 \times 365 \times .153 ] \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 37\,342 \times -17.49 \times 365 \times .153 ] / 1.10 \right\} +\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left\{ [ 37\,846 \times -19.00 \times 365 \times .153 ] / 1.10^2 \right\} + \\
& \left\{ [ 38\,349 \times -20.68 \times 365 \times .153 ] / 1.10^3 \right\} + \\
& \left\{ [ 38\,851 \times -22.28 \times 365 \times .153 ] / 1.10^4 \right\} \\
& = -165\,821\,201 \$
\end{aligned}$$


---

**Pour  $\tau = 8$**

$$\begin{aligned}
\text{Val. temps} &= \left\{ [ 36\,841 \times -23.55 \times 365 \times .153 ] \right\} + \\
& \left\{ [ 37\,342 \times -26.26 \times 365 \times .153 ] / 1.10 \right\} + \\
& \left\{ [ 37\,846 \times -29.27 \times 365 \times .153 ] / 1.10^2 \right\} + \\
& \left\{ [ 38\,349 \times -32.57 \times 365 \times .153 ] / 1.10^3 \right\} + \\
& \left\{ [ 38\,851 \times -36.18 \times 365 \times .153 ] / 1.10^4 \right\} \\
& = -255\,381\,131 \$
\end{aligned}$$


---

**Pour  $\tau = 10$**

$$\begin{aligned}
\text{Val. temps} &= \left\{ [ 36\,841 \times -32.32 \times 365 \times .153 ] \right\} + \\
& \left\{ [ 37\,342 \times -37.02 \times 365 \times .153 ] / 1.10 \right\} + \\
& \left\{ [ 37\,846 \times -42.39 \times 365 \times .153 ] / 1.10^2 \right\} + \\
& \left\{ [ 38\,349 \times -48.42 \times 365 \times .153 ] / 1.10^3 \right\} + \\
& \left\{ [ 38\,851 \times -55.20 \times 365 \times .153 ] / 1.10^4 \right\} \\
& = -370\,428\,225 \$
\end{aligned}$$


---

## 9.5 Calculs des coûts d'opération des véhicules

### Jacques-Cartier

Pour  $\tau = 8$  ( 20 km/h  $\Rightarrow$  .33 km/min. )

$$\begin{aligned} (.) &= \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -11.15 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 107\,938 \times 365 ] \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -12.46 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 109\,407 \times 365 ] / 1.10 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -13.88 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 110\,874 \times 365 ] / 1.10^2 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -15.43 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 112\,342 \times 365 ] / 1.10^3 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -17.15 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 113\,810 \times 365 ] / 1.10^4 \right\} \\ &= -60\,265\,150 \$ \end{aligned}$$

---

Pour  $\tau = 10$

$$\begin{aligned} (.) &= \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -14.82 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 107\,938 \times 365 ] \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -17.00 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 109\,407 \times 365 ] / 1.10 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -19.44 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 110\,874 \times 365 ] / 1.10^2 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -22.21 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 112\,342 \times 365 ] / 1.10^3 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -25.32 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 113\,810 \times 365 ] / 1.10^4 \right\} \\ &= -84\,598\,970 \$ \end{aligned}$$

---

## Victoria

**Pour  $\tau = 6$  ( 20 km/h  $\Rightarrow$  .33 km/min. )**

$$\begin{aligned} (.) &= \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -16.13 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 36\,841 \times 365 ] \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -17.49 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 37\,342 \times 365 ] / 1.10 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -19.00 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 37\,846 \times 365 ] / 1.10^2 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -20.68 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 38\,349 \times 365 ] / 1.10^3 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -22.28 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 38\,851 \times 365 ] / 1.10^4 \right\} \\ &= -28\,178\,730 \$ \end{aligned}$$

---

**Pour  $\tau = 8$**

$$\begin{aligned} (.) &= \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -23.55 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 36\,841 \times 365 ] \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -26.26 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 37\,342 \times 365 ] / 1.10 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -29.27 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 37\,846 \times 365 ] / 1.10^2 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -32.57 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 38\,349 \times 365 ] / 1.10^3 \right\} + \\ &\quad \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -36.18 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 38\,851 \times 365 ] / 1.10^4 \right\} \\ &= -43\,398\,135 \$ \end{aligned}$$

---

**Pour  $\tau = 10$**

$$\begin{aligned} (. ) = & \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -32.32 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 36\,841 \times 365 ] \right\} + \\ & \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -37.02 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 37\,342 \times 365 ] / 1.10 \right\} + \\ & \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -42.39 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 37\,846 \times 365 ] / 1.10^2 \right\} + \\ & \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -48.42 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 38\,349 \times 365 ] / 1.10^3 \right\} + \\ & \left\{ [ 20 \text{ km/h} \times -55.20 \text{ min.} \times 0.078\$/\text{km} \times 38\,851 \times 365 ] / 1.10^4 \right\} \\ = & -62\,947\,170 \$ \end{aligned}$$

---

## 9.6 Calculs des coûts environnementaux

### Louis-Hyppolite Lafontaine

Pour  $\tau = 6$

En 1997 ..... 22 694 240 \$

En 1998 : 108 734 usagers @ 5.62 minutes

⇒ 0.3119 tonne de NO<sub>x</sub> = 2 009 \$

⇒ 3.2554 tonnes de CO = 24 669 \$

⇒ 46.278 tonnes de CO<sub>2</sub> = 37 838 \$

⇒ 0.4289 tonne de HC = 3 575 \$

⇒ 68 091 \$ x 365 jours à 10 % ..... 22 593 832 \$

En 1999 : 110 164 usagers @ 6.10 minutes

⇒ 0.3430 tonne de NO<sub>x</sub> = 2 209 \$

⇒ 3.5799 tonnes de CO = 27 128 \$

⇒ 50.890 tonnes de CO<sub>2</sub> = 41 609 \$

⇒ 0.4716 tonne de HC = 3 931 \$

⇒ 74 877 \$ x 365 jours à 10 %<sup>2</sup> ..... 22 586 930 \$

En 2000 : 111 595 usagers @ 6.61 minutes

⇒ 0.3765 tonne de NO<sub>x</sub> = 2 425 \$

⇒ 3.9200 tonnes de CO = 29 781 \$

⇒ 55.862 tonnes de CO<sub>2</sub> = 45 674 \$

⇒ 0.5270 tonne de HC = 4 393 \$

⇒ 82 273 \$ x 365 jours à 10 %<sup>3</sup> ..... 22 561 745 \$

**En 2001** : 113 026 usagers @ 7.14 minutes

- ⇒ 0.4119 tonne de NO<sub>x</sub> = 2 653 \$
- ⇒ 4.2992 tonnes de CO = 32 579 \$
- ⇒ 61.115 tonnes de CO<sub>2</sub> = 49 969 \$
- ⇒ 0.5664 tonne de HC = 4 721 \$

⇒ 89 922 \$ x 365 jours à 10 %<sup>4</sup> ..... 22 417 570 \$

**Pour  $\tau = 8$**

**En 1997** : 107 302 usagers @ 6.43 minutes

- ⇒ 0.3522 tonne de NO<sub>x</sub> = 2 269 \$
- ⇒ 3.6760 tonnes de CO = 27 856 \$
- ⇒ 52.250 tonnes de CO<sub>2</sub> = 42 721 \$
- ⇒ 0.4842 tonne de HC = 4 036 \$

⇒ 76 882 \$ x 365 jours ..... 28 061 930 \$

**En 1998** : 108 734 usagers @ 7.16 minutes

- ⇒ 0.3974 tonne de NO<sub>x</sub> = 2 560 \$
- ⇒ 4.1475 tonnes de CO = 31 429 \$
- ⇒ 58.959 tonnes de CO<sub>2</sub> = 48 207 \$
- ⇒ 0.5464 tonne de HC = 4 554 \$

⇒ 86 750 \$ x 365 jours à 10 % ..... 28 785 360 \$

**En 1999** : 110 164 usagers @ 7.98 minutes

- ⇒ 0.4487 tonne de NO<sub>x</sub> = 2 884 \$
- ⇒ 4.6830 tonnes de CO = 35 487 \$

⇒ 66.575 tonnes de CO<sub>2</sub> = 54 434 \$  
 ⇒ 0.6170 tonne de HC = 5 143 \$  
 ⇒ 97 948 \$ x 365 jours à 10 %<sup>2</sup> ..... 29 546 385 \$

**En 2000** : 111 595 usagers @ 8.86 minutes

⇒ 0.5046 tonne de NO<sub>x</sub> = 3 250 \$  
 ⇒ 5.2670 tonnes de CO = 39 913 \$  
 ⇒ 74.877 tonnes de CO<sub>2</sub> = 61 222 \$  
 ⇒ 0.6939 tonne de HC = 5 784 \$  
 ⇒ 110 169 \$ x 365 jours à 10 %<sup>3</sup> ..... 30 211 780 \$

**En 2001** : 113 026 usagers @ 9.84 minutes

⇒ 0.5677 tonne de NO<sub>x</sub> = 3 657 \$  
 ⇒ 5.9250 tonnes de CO = 44 899 \$  
 ⇒ 84.226 tonnes de CO<sub>2</sub> = 68 865 \$  
 ⇒ 0.7805 tonne de HC = 6 505 \$  
 ⇒ 123 926 \$ x 365 jours à 10 %<sup>4</sup> ..... 30 894 695 \$

**Pour τ = 10**

**En 1997** : 107 302 usagers @ 7.50 minutes

⇒ 0.4108 tonne de NO<sub>x</sub> = 2 646 \$  
 ⇒ 4.2870 tonnes de CO = 32 486 \$  
 ⇒ 60.945 tonnes de CO<sub>2</sub> = 49 830 \$  
 ⇒ 0.5648 tonne de HC = 4 708 \$  
 ⇒ 89 670 \$ x 365 jours ..... 32 729 550 \$



**En 1998** : 108 734 usagers @ 8.58 minutes

⇒ 0.4762 tonne de NO<sub>x</sub> = 3 067 \$

⇒ 4.9700 tonnes de CO = 37 662 \$

⇒ 70.652 tonnes de CO<sub>2</sub> = 57 767 \$

⇒ 0.6547 tonne de HC = 5 457 \$

⇒ 103 953 \$ x 365 jours à 10 % ..... 34 493 595 \$

**En 1999** : 110 164 usagers @ 9.80 minutes

⇒ 0.5510 tonne de NO<sub>x</sub> = 3 549 \$

⇒ 5.7510 tonnes de CO = 43 580 \$

⇒ 81.759 tonnes de CO<sub>2</sub> = 66 849 \$

⇒ 0.7577 tonne de HC = 6 315 \$

⇒ 120 293 \$ x 365 jours à 10 %<sup>2</sup> ..... 36 286 840 \$

**En 2000** : 111 595 usagers @ 11.18 minutes

⇒ 0.6368 tonne de NO<sub>x</sub> = 4 102 \$

⇒ 6.6470 tonnes de CO = 50 370 \$

⇒ 94.484 tonnes de CO<sub>2</sub> = 77 253 \$

⇒ 0.8759 tonne de HC = 7 301 \$

⇒ 139 026 \$ x 365 jours à 10 %<sup>3</sup> ..... 38 124 980 \$

**En 2001** : 113 026 usagers @ 12.74 minutes

⇒ 0.7350 tonne de NO<sub>x</sub> = 4 734 \$

⇒ 7.6710 tonnes de CO = 58 130 \$

⇒ 109.05 tonnes de CO<sub>2</sub> = 89 161 \$

⇒ 1.0105 tonnes de HC = 8 423 \$

⇒ 160 448 \$ x 365 jours à 10 %<sup>4</sup> ..... 39 999 620 \$

## Jacques-Cartier

### **Pour $\tau = 6$**

**En 1997** : 107 938 usagers @ 7.88 minutes

- ⇒ 0.4340 tonne de NO<sub>x</sub> = 2 795 \$
- ⇒ 4.5310 tonnes de CO = 34 336 \$
- ⇒ 64.413 tonnes de CO<sub>2</sub> = 52.666 \$
- ⇒ 0.5969 tonne de HC = 4 975 \$

⇒ 94 772 \$ x 365 jours ..... 34 591 780 \$

**En 1998** : 109 402 usagers @ 8.57 minutes

- ⇒ 0.4790 tonne de NO<sub>x</sub> = 3 085 \$
- ⇒ 4.9950 tonnes de CO = 37 852 \$
- ⇒ 71.000 tonnes de CO<sub>2</sub> = 58 052 \$
- ⇒ 0.6580 tonne de HC = 5 484 \$

⇒ 104 473 \$ x 365 jours à 10 %..... 34 665 875 \$

**En 1999** : 110 874 usagers @ 9.29 minutes

- ⇒ 0.5257 tonne de NO<sub>x</sub> = 3 386 \$
- ⇒ 5.4870 tonnes de CO = 41 580 \$
- ⇒ 78.000 tonnes de CO<sub>2</sub> = 63 775 \$
- ⇒ 0.7229 tonne de HC = 6 025 \$

⇒ 114 766 \$ x 365 jours à 10 %<sup>2</sup> ..... 34 619 520 \$

**En 2000** : 112 342 usagers @ 10.07 minutes

- ⇒ 0.5774 tonne de NO<sub>x</sub> = 3 719 \$

⇒ 6.0270 tonnes de CO = 45 672 \$  
 ⇒ 85.670 tonnes de CO<sub>2</sub> = 70 046 \$  
 ⇒ 0.7939 tonne de HC = 6 617 \$  
 ⇒ 126 054 \$ x 365 jours à 10 %<sup>3</sup> ..... 34 567 690 \$

**En 2001** : 113 810 usagers @ 10.90 minutes

⇒ 0.6332 tonne de NO<sub>x</sub> = 4 079 \$  
 ⇒ 6.6087 tonnes de CO = 50 080 \$  
 ⇒ 93.946 tonnes de CO<sub>2</sub> = 76 813 \$  
 ⇒ 0.8706 tonne de HC = 7 256 \$  
 ⇒ 138 228 \$ x 365 jours à 10 %<sup>4</sup> ..... 34 460 380 \$

**Pour τ = 8**

**En 1997** : 107 938 usagers @ 11.15 minutes

⇒ 0.6143 tonne de NO<sub>x</sub> = 3 957 \$  
 ⇒ 6.4115 tonnes de CO = 48 586 \$  
 ⇒ 91.142 tonnes de CO<sub>2</sub> = 74 520 \$  
 ⇒ 0.8446 tonne de HC = 7 040 \$  
 ⇒ 134 103 \$ x 365 jours ..... 48 947 595 \$

**En 1998** : 109 407 usagers @ 12.46 minutes

⇒ 0.6960 tonne de NO<sub>x</sub> = 4 483 \$  
 ⇒ 7.2620 tonnes de CO = 55 031 \$  
 ⇒ 103.24 tonnes de CO<sub>2</sub> = 84 410 \$  
 ⇒ 0.9567 tonne de HC = 7 974 \$  
 ⇒ 151 898 \$ x 365 jours à 10 % ..... 50 402 485 \$

**En 1999** : 110 874 usagers @ 13.88 minutes

⇒ 0.7855 tonne de NO<sub>x</sub> = 5 060 \$

⇒ 8.1980 tonnes de CO = 62 124 \$

⇒ 116.54 tonnes de CO<sub>2</sub> = 95 290 \$

⇒ 1.080 tonnes de HC = 9 002 \$

⇒ 171 476 \$ x 365 jours à 10 %<sup>2</sup> ..... 51 726 340 \$

**En 2000** : 112 342 usagers @ 15.43 minutes

⇒ 0.8847 tonne de NO<sub>x</sub> = 5 699 \$

⇒ 9.2345 tonnes de CO = 69 978 \$

⇒ 131.28 tonnes de CO<sub>2</sub> = 107 334 \$

⇒ 1.2165 tonnes de HC = 10 140 \$

⇒ 193 151 \$ x 365 jours à 10 %<sup>3</sup> ..... 52 967 705 \$

**En 2001** : 113 810 usagers @ 17.15 minutes

⇒ 0.9960 tonne de NO<sub>x</sub> = 6 415 \$

⇒ 10.398 tonnes de CO = 78 795 \$

⇒ 147.81 tonnes de CO<sub>2</sub> = 120 414 \$

⇒ 1.3700 tonnes de HC = 11 419 \$

⇒ 217 043 \$ x 365 jours à 10 %<sup>4</sup> ..... 54 108 695 \$

**Pour  $\tau = 10$**

**En 1997** : 107 938 usagers @ 14.82 minutes

⇒ 0.8160 tonne de NO<sub>x</sub> = 5 256 \$

⇒ 8.5220 tonnes de CO = 64 579 \$

⇒ 121.14 tonnes de CO<sub>2</sub> = 99 049 \$

⇒ 1.1226 tonnes de HC = 9 357 \$

⇒ 178 241 \$ x 365 jours ..... 65 057 965 \$

**En 1998** : 109 407 usagers @ 17.00 minutes

⇒ 0.9490 tonne de NO<sub>x</sub> = 6 113 \$

⇒ 9.9080 tonnes de CO = 76 865 \$

⇒ 140.85 tonnes de CO<sub>2</sub> = 115 166 \$

⇒ 1.3050 tonnes de HC = 10 877 \$

⇒ 209 021 \$ x 365 jours à 10% ..... 69 356 935 \$

**En 1999** : 110 874 usagers @ 19.44 minutes

⇒ 1.1000 tonnes de NO<sub>x</sub> = 5 256 \$

⇒ 11.482 tonnes de CO = 76 865 \$

⇒ 163.23 tonnes de CO<sub>2</sub> = 133 462 \$

⇒ 1.5130 tonnes de HC = 12 611 \$

⇒ 240 167 \$ x 365 jours à 10%<sup>2</sup> ..... 72 447 025 \$

**En 2000** : 112 342 usagers @ 22.21 minutes

⇒ 1.2740 tonnes de NO<sub>x</sub> = 8 206 \$

⇒ 13.292 tonnes de CO = 100 725 \$

⇒ 188.96 tonnes de CO<sub>2</sub> = 154 497 \$

⇒ 1.7510 tonnes de HC = 14 595 \$

⇒ 278 023 \$ x 365 jours à 10%<sup>3</sup> ..... 76 242 295 \$

**En 2001** : 113 810 usagers @ 25.32 minutes

⇒ 1.4700 tonnes de NO<sub>x</sub> = 9 469 \$

⇒ 15.350 tonnes de CO = 116 321 \$

⇒ 218.23 tonnes de CO<sub>2</sub> = 178 431 \$

⇒ 2.0220 tonnes de HC = 16 853 \$

⇒ 321 074 \$ x 365 jours à 10%<sup>4</sup> ..... 80 043 770 \$

## **Victoria**

**Pour  $\tau = 6$**

**En 1997** : 36 841 usagers @ 16.13 minutes

⇒ 0.3033 tonne de NO<sub>x</sub> = 1 954 \$

⇒ 3.1660 tonnes de CO = 23 992 \$

⇒ 45.000 tonnes de CO<sub>2</sub> = 36 793 \$

⇒ 0.4170 tonne de HC = 3 476 \$

⇒ 66 215 \$ x 365 jours ..... 24 168 475 \$

**En 1998** : 37 342 usagers @ 17.49 minutes

⇒ 0.3333 tonne de NO<sub>x</sub> = 2 147 \$

⇒ 3.1660 tonnes de CO = 26 363 \$

⇒ 49.460 tonnes de CO<sub>2</sub> = 40 440 \$

⇒ 0.4583 tonne de HC = 3 820 \$

⇒ 72 770 \$ x 365 jours à 10% ..... 24 146 575 \$

**En 1999** : 37 846 usagers @ 19.00 minutes

⇒ 0.3670 tonne de NO<sub>x</sub> = 2 364 \$

⇒ 3.8300 tonnes de CO = 29 023 \$  
 ⇒ 54.456 tonnes de CO<sub>2</sub> = 44 525 \$  
 ⇒ 0.5046 tonne de HC = 4 206 \$  
 ⇒ 80 118 \$ x 365 jours à 10%<sup>2</sup> ..... 24 167 745 \$

**En 2000** : 38 349 usagers @ 20.68 minutes

⇒ 0.4048 tonne de NO<sub>x</sub> = 2 607 \$  
 ⇒ 4.2250 tonnes de CO = 32 017 \$  
 ⇒ 60.060 tonnes de CO<sub>2</sub> = 49 107 \$  
 ⇒ 0.5566 tonne de HC = 4 639 \$  
 ⇒ 88 370 \$ x 365 jours à 10%<sup>3</sup> ..... 24 233 810 \$

**En 2001** : 38 851 usagers @ 22.28 minutes

⇒ 0.4418 tonne de NO<sub>x</sub> = 2 846 \$  
 ⇒ 4.6113 tonnes de CO = 34 944 \$  
 ⇒ 65.552 tonnes de CO<sub>2</sub> = 53 597 \$  
 ⇒ 0.6075 tonne de HC = 5 064 \$  
 ⇒ 96 451\$ x 365 jours à 10%<sup>4</sup> ..... 24 045 105 \$

**Pour τ = 8**

**En 1997** : 36 841 usagers @ 23.55 minutes

⇒ 0.4428 tonne de NO<sub>x</sub> = 2 852 \$  
 ⇒ 4.6220 tonnes de CO = 35 025 \$  
 ⇒ 65.704 tonnes de CO<sub>2</sub> = 53 722 \$  
 ⇒ 0.6089 tonne de HC = 5 075 \$  
 ⇒ 96 674 \$ x 365 jours ..... 35 286 010 \$

**En 1998** : 37 342 usagers @ 26.26 minutes

⇒ 0.5005 tonne de NO<sub>x</sub> = 3 224 \$

⇒ 5.2240 tonnes de CO = 39 587 \$

⇒ 74.262 tonnes de CO<sub>2</sub> = 60 718 \$

⇒ 0.6882 tonne de HC = 5 736 \$

⇒ 109 265 \$ x 365 jours à 10%..... 36 256 180 \$

**En 1999** : 37 846 usagers @ 29.27 minutes

⇒ 0.5654 tonne de NO<sub>x</sub> = 3 642 \$

⇒ 5.9013 tonnes de CO = 44 719 \$

⇒ 83.891 tonnes de CO<sub>2</sub> = 68 592 \$

⇒ 0.7774 tonne de HC = 6 480 \$

⇒ 123 433 \$ x 365 jours à 10%<sup>2</sup>..... 37 234 015 \$

**En 2000** : 38 349 usagers @ 32.57 minutes

⇒ 0.6375 tonne de NO<sub>x</sub> = 4 106 \$

⇒ 6.6540 tonnes de CO = 50 423 \$

⇒ 94.590 tonnes de CO<sub>2</sub> = 77 340 \$

⇒ 0.8766 tonne de HC = 7 306 \$

⇒ 139 175 \$ x 365 jours à 10%<sup>3</sup>..... 38 165 860 \$

**En 2001** : 38 851 usagers @ 36.18 minutes

⇒ 0.7174 tonne de NO<sub>x</sub> = 4 621 \$

⇒ 7.4880 tonnes de CO = 56 743 \$

⇒ 106.45 tonnes de CO<sub>2</sub> = 87 036 \$

⇒ 0.9865 tonne de HC = 8 222 \$

⇒ 156 622 \$ x 365 jours à 10%<sup>4</sup>..... 39 045 875 \$



**Pour  $\tau = 10$**

**En 1997** : 36 841 usagers @ 32.32 minutes

- ⇒ 0.6077 tonne de NO<sub>x</sub> = 3 914 \$
- ⇒ 6.3430 tonnes de CO = 48 067 \$
- ⇒ 90.173 tonnes de CO<sub>2</sub> = 73 728 \$
- ⇒ 0.8356 tonne de HC = 6 965 \$

⇒ 132 674 \$ x 365 jours ..... 48 426 010 \$

**En 1998** : 37 342 usagers @ 37.02 minutes

- ⇒ 0.7056 tonne de NO<sub>x</sub> = 4 545 \$
- ⇒ 7.3640 tonnes de CO = 55 804 \$
- ⇒ 104.69 tonnes de CO<sub>2</sub> = 85 598 \$
- ⇒ 0.9702 tonne de HC = 8 087 \$

⇒ 154 034 \$ x 365 jours à 10%..... 51 111 315 \$

**En 1999** : 37 846 usagers @ 42.39 minutes

- ⇒ 0.8188 tonne de NO<sub>x</sub> = 5 274 \$
- ⇒ 8.5470 tonnes de CO = 64 768 \$
- ⇒ 121.49 tonnes de CO<sub>2</sub> = 99 337 \$
- ⇒ 1.1260 tonnes de HC = 9 385 \$

⇒ 178 764 \$ x 365 jours à 10%<sup>2</sup> ..... 53 924 735 \$

**En 2000** : 38 349 usagers @ 48.42 minutes

- ⇒ 0.9477 tonne de NO<sub>x</sub> = 6 104 \$

⇒ 9.8920 tonnes de CO = 74 960 \$  
⇒ 140.62 tonnes de CO<sub>2</sub> = 114 976 \$  
⇒ 1.3030 tonnes de HC = 10 861 \$  
⇒ 206 901 \$ x 365 jours à 10%<sup>3</sup> ..... 56 738 520 \$

**En 2001** : 38 851 usagers @ 55.20 minutes

⇒ 1.095 tonnes de NO<sub>x</sub> = 7 053 \$  
⇒ 11.425 tonnes de CO = 86 576 \$  
⇒ 162.41 tonnes de CO<sub>2</sub> = 132 791 \$  
⇒ 1.5050 tonnes de HC = 12 544 \$  
⇒ 238 964 \$ x 365 jours à 10%<sup>4</sup> ..... 59 573 840 \$

**Tableau 9.7**  
Coûts d'utilisation de la route au Québec

| Années  | Km<br>'000 000 | Aug.<br>(%) | Total<br>Véhicules | Autos     | %<br>aut/veh. | Camions | %<br>cam/veh. | Budget<br>'000 000 | %    | Coût/km |
|---------|----------------|-------------|--------------------|-----------|---------------|---------|---------------|--------------------|------|---------|
| 81-82   | 2269           |             | 2 770 022          | 2 331 505 | 84%           | 438 517 | 16%           | 477,1              |      | 0,21    |
| 82-83   | 2305           | 2%          | 2 704 513          | 2 320 421 | 86%           | 384 092 | 14%           | 517,5              | 8%   | 0,22    |
| 83-84   | 3107           | 35%         | 2 741 818          | 2 352 778 | 86%           | 389 040 | 14%           | 560,7              | 8%   | 0,18    |
| 84-85   | 4177           | 34%         | 2 802 979          | 2 407 997 | 86%           | 394 982 | 14%           | 472,8              | -16% | 0,11    |
| 85-86   | 4227           | 1%          | 2 876 961          | 2 470 199 | 86%           | 406 762 | 14%           | 502,1              | 6%   | 0,12    |
| 86-87   | 4276           | 1%          | 3 050 622          | 2 605 808 | 85%           | 444 814 | 15%           | 481,4              | -4%  | 0,11    |
| 87-88   | 4436           | 4%          | 3 233 627          | 2 673 564 | 83%           | 560 063 | 17%           | 526,4              | 9%   | 0,12    |
| 88-89   | 4436           | 0%          | 3 345 685          | 2 762 391 | 83%           | 583 294 | 17%           | 540,1              | 3%   | 0,12    |
| 89-90   | 4557           | 3%          | 3 436 734          | 2 834 156 | 82%           | 602 578 | 18%           | 582,3              | 8%   | 0,13    |
| 90-91   | 4577           | 0%          | 3 496 379          | 2 909 048 | 83%           | 587 331 | 17%           | 540,3              | -7%  | 0,12    |
| 91-92   | 4566           | 0%          | 3 550 984          | 2 970 232 | 84%           | 580 752 | 16%           | 617,7              | 14%  | 0,14    |
| 92-93   | 4645           | 2%          | 3 590 803          | 3 023 128 | 84%           | 567 675 | 16%           | 659,7              | 7%   | 0,14    |
| 93-94   | 4691           | 1%          | 3 624 849          | 3 062 086 | 84%           | 562 763 | 16%           | 612,3              | -7%  | 0,13    |
| 94-95   | 4738           | 1%          | 3 666 756          | 3 099 081 | 85%           | 567 675 | 15%           | 619,2              | 1%   | 0,13    |
| 95-96   | 4786           | 1%          | 3 694 083          | 3 124 587 | 85%           | 569 496 | 15%           | 565,9              | -9%  | 0,12    |
| 96-97   | 4833           | 1%          | 3 760 152          | 3 174 401 | 84%           | 585 751 | 16%           | 530,6              | -6%  | 0,11    |
| 97-98   | 4882           | 1%          | 3 816 848          | 3 220 446 | 84%           | 596 402 | 16%           | 535,9              | 1%   | 0,11    |
| 98-99   | 4931           | 1%          | 3 855 017          | 3 238 214 | 84%           | 616 803 | 16%           | 541,3              | 1%   | 0,11    |
| 99-00   | 4980           | 1%          | 3 893 567          | 3 270 596 | 84%           | 622 971 | 16%           | 546,7              | 1%   | 0,11    |
| 00-01   | 5023           | 1%          | 3 932 502          | 3 303 302 | 84%           | 629 200 | 16%           | 552,1              | 1%   | 0,11    |
| 01-2002 | 5080           | 1%          | 3 971 827          | 3 336 335 | 84%           | 635 492 | 16%           | 557,7              | 1%   | 0,11    |

## 10. Bibliographie

**Association des transports du Canada**, *Systèmes intelligents véhicules-routes : un synopsis*, juin 1992, Transport Canada.

**Association du camionnage du Québec**, *coûts d'utilisation des véhicules lourds*, 1997.

**Babin, André et Erwin Roy**, *Modalités, externalités et prix de référence pour l'analyse bénéfices/coûts des projets en transport*, Document de référence, Gouvernement du Québec, MTQ, 1991.

**Bureau of public roads**, *Traffic Assignment Manual*, U.S. Dept. of Commerce, Urban Planning Division, Washington D.C., 1964.

**CAA Québec**, *coûts d'utilisation d'une automobile*, bilan 1998.

**Evans, J.G.**, *A Financial and Economic Framework for Investment Appraisal*, 1977.

**Fernandez Galvan, Pedro Antonio**, *Une approche économétrique au problème distribution-affectation*, Centre de recherche en transport, 1995.

**Frankena, M.W.**, *Urban Transportation Financing Theory and policy in Ontario*, Ontario Economic Council, Toronto, 1982.

**Gaudry, Marc**, *An aggregate time-series analysis of urban transit demand, the Montreal case*, Centre de recherche en transport, cahier # 6, 1975.

**Gouvernement du Québec**, *Identification et conditions d'application de nouvelles sources de financement pour le réseau routier québécois, rapport final, septembre 1994*, volume I à III, Ministère des Transports.

**Gouvernement du Québec**, *Recensement de la circulation sur les routes du Québec, rapport annuel, 1984 à 1995*.

**Gouvernement du Québec**, *Vers un plan de transport pour la région de Montréal, phase 1 : Choisir, diagnostic et orientation, 1995*, Ministère des Transports.

**Harrop, Peter**, *Charging for road use worldwide : an appraisal for road pricing, tolls and parking*, 1993, 182 p.

**Hau, Timothy D.**, *Economic Fundamentals of road pricing : a diagrammatic analysis*, World bank, Transport division, 1992, 96 p.

**Laferrière, Richard**, *Les élasticités-prix de la demande de transport interurbain des personnes*, Centre de recherche en transport, 1992.

**Mishan, E.J.**, *Cost benefit analysis*, Praeger, 1976.

**Mohring, Herbert**, *Essays in Transportation economics and policy, part II : The automobile in Society*, 1999, 577 p.

**Office de la Planification et de Développement du Québec (1991)**, *Bilan socio-économique : région de la Montérégie*. Gouvernement du Québec.

**Revue générale des routes, dossiers : autoroutes à péage en Europe**, mai 1997, p. 13-33.

**Risaliti, G. & Massone, R.**, *Electronic road pricing and tolling : a full multilane solution*, Institute of Transport Economics, 1995, 147 p.

**Société de l'assurance automobile du Québec**, *Dossiers statistiques, bilan 1997, accidents, parc automobile et permis de conduire*, mai 1998.

**Société des ponts Champlain et Jacques-Cartier**, *rapport annuel, 1995-1996*.

**Statistiques Canada**, *Document de référence de l'indice des prix à la consommation*, catalogue 62-553, juillet 1995, 126 pages.

**Statistiques Canada**, *Guide d'utilisation de l'indice des prix à la consommation*, catalogue 62-557-XPB, Septembre 1998, 40 pages.

**The Reason Foundation**, *Congestion pricing for Southern California : using market pricing to reduce congestion and emissions*, World Conference on Transport Research, 1992.

**Vythoulkas, Petros C.**, *Evaluating the effects of road pricing during morning peak*, Université d'Oxford, 1991, 29 p.