ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE DE 24 CRÉDITS PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE EN GÉNIE DE LA CONSTRUCTION
M. Ing.

PAR
MOCANU, Mihai Dragos

IMPACT DU REPORT DES TRAVAUX ROUTIERS SUR LES COÛTS AUX USAGERS DE LA ROUTE

MONTRÉAL, LE 26 FÉVRIER 2008

© Mocanu Mihai Dragos, 2008

PRÉSENTATION DU JURY - MÉMOIRE

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE

M. Gabriel J. Assaf, directeur de mémoire
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

Mme. Michèle St-Jacques, Présidente du jury
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Christian Alarie, membre du jury
Coordonnateur des chargés de projets, Construction DJL, Montréal

IL A FAIT L'OBJET D'UNE PRÉSENTATION DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 30 NOVEMBRE 2007

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Premièrement, je voudrais remercier M. Gabriel J. ASSAF, B.Sc.A., M.Sc.A., Ph.D., professeur à l'École de Technologie Supérieure, qui m'a aidé et qui m'a soutenu continuellement. Je suis vraiment chanceux d'avoir pu bénéficier de son aide et de ses précieux conseils. J'en suis reconnaissant. Et j'en serai toujours.

J'aimerai remercier aussi tous les professeurs du Département de Génie de la Construction ainsi que toute l'équipe de l'École de Technologie Supérieure pour la qualité du travail effectué et pour les conditions idéales offertes à ceux et celles qui ont fait le bon choix de progresser dans leurs carrières en collaborant avec l'ETS.

Mes remerciements s'adressent aussi à M. Franz LAUTURE de la Ville de Montréal, M. Guy MAILHOT et M. Luc PROULX de la Compagnie « Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Inc. » ainsi que M. Pierre FOURNIER et M. Pierre TREMBLAY de la Direction de la planification du Service de la modélisation des systèmes de transport (MTQ) pour leurs précieuses aides quand à l'obtention des données nécessaires dans le calcul des options d'intervention sur un tronçon de l'autoroute Bonaventure.

Un gros merci est adressé à mes collègues de travail chez Construction DJL à Montréal pour tout le soutien que j'ai reçu lors de la réalisation des soumissions pour différentes interventions sur l'autoroute Bonaventure. Cette aide précieuse m'a permis de mieux comprendre le contexte et l'historique des travaux réalisés sur cette autoroute.

Évidemment, je ne peux pas finir cette liste sans présenter mes plus grands remerciements à ma famille, celle qui m'a aidé tout au long de mes études et qui a été le plus proche soutien.

IMPACT DU REPORT DES TRAVAUX ROUTIERS SUR LES COÛTS AUX USAGERS DE LA ROUTE

MOCANU, Mihai Dragos

RÉSUMÉ

Le présent mémoire doit être interprété comme une contribution aux efforts actuels dirigés vers une politique des investissements routiers à forte efficacité socio-économique. La contribution susmentionnée est constituée par une revue bibliographique et une analyse comparative, quand aux conséquences aux usagers, de travaux identiques réalisés sur un même tronçon de route à des moments différents. Une revue exhaustive de tous les outils existants permettant d'effectuer ce type d'analyse, le choix et la justification de l'outil retenu et son adaptation pour une affectation locale à l'autoroute Bonaventure et enfin la mise en œuvre de cette analyse de travaux de réhabilitation identiques, réalisés à des moments différents, font l'objet de ce mémoire. En ce qui concerne les travaux identiques il s'agit de travaux de planage et pavage sur un kilomètre d'autoroute très circulée, plus précisément l'autoroute Bonaventure à Montréal. De point de vue moments différents, on a analysé trois options, à part celle de base, caractérisées par des moments de déclenchement des travaux différents. La première option, celle de base, constitue juste l'entretien de routine. La deuxième option constitue des travaux de planage pavage déclenchés dés que l'indice international de rugosité (IRI) atteint la valeur 5, les deux autres options représentant les mêmes travaux déclenchés au moment où l'IRI atteint la valeur de 3.2 respectivement 3.83. Le choix de ces valeurs de l'IRI est expliqué dans les chapitres 4 et 5. La durée choisie pour l'étude des trois options a été fixée à 15 ans afin de déterminer les effets sur les usagers à moyen ou long terme. L'outil retenu a été mis au point pour la Banque Mondiale, il s'agit du logiciel HDM-4, le choix retenu étant détaillé dans le chapitre 1. Les modèles de dégradation de chaussées sont ceux utilisés par défaut dans le logiciel HDM-4. Les données d'entrée sur la section étudiée sont réelles mais n'ont pas été acquises dans la même période, des différentes hypothèses étant prises et exposées dans les chapitres 4 et 5.

Les deux derniers chapitres présentent les résultats ainsi qu'une interprétation à travers des tableaux et graphiques conçus d'une telle manière à rendre visible l'impact du retard des travaux sur les usagers. L'impact d'intervenir plus tôt, au bon moment, se traduit par une économie de l'ordre de 28 % sur les coûts aux usagers par rapport à l'option de base. D'autre part, les différences énormes des efforts budgétaires pour arriver à des résultats quasi-similaires de point de vue réduction des coûts aux usagers sont tout à fait surprenantes.

IMPACT OF DELAYING ROAD MAINTENANCE ON ROAD USER COSTS

MOCANU, Mihai Dragos

ABSTRACT

This research is a contribution to the present efforts in Quebec and in world in general towards a healthy road investment policy. It consists in a thorough literature review of available tools, an assessment of their applicability to evaluate the impact of applying maintenance strategies at various moments and to demonstrate with an application on highway Bonaventure in Montreal, Quebec, the magnitude of savings that can result from, with a vehicle user cost conscientious policy.
The results of the comparative analysis on the road user costs consequences due to the same type of works, on the same section but in different moments are quite stunning. The same type of maintenance refers to milling and paving a one kilometre length section of a high traffic highway in Montreal. In addition to the base option, the one consisting of applying routine maintenance only, three other interventions are considered, the difference in these three interventions referring to different times of application. The first option consists in milling and paving as soon as the International Roughness Index (IRI) reaches 5. The second and third options use the same intervention but as soon as IRI reaches the level of 3.2 and 3.83 respectively. The arguments in choosing these particular values for the IRI are described in chapters 4 and 5. The analysis period used for this simulation is 15 years because we intended to estimate the road user costs on a reasonable time interval.
The research describes, justifies and uses a tool developed for the World Bank, the HDM-4 software. Reasons why this particular software was selected are provided in chapter 1. We have to mention also that the pavement deterioration models employed are the HDM-4 default models. Concerning the entry data, we used the real values we had, the main thing to mention being the time delay in data acquisition. The various assumptions are explained in chapters 4 and 5.

The two last chapters describe the results of this research and provide an interpretation of these results through different charts and graphics in order to highlight the impact of the road works delay on road user costs. This impact means a 28 % average reduction of the user costs comparing to the base option, which is the routine maintenance one. The second stunning conclusion is the huge difference between the three financial efforts, required from the road agency, leading to very similar results in term of road user costs benefits.

TABLE DES MATIÈRES

Page

INTRODUCTION 1

CHAPITRE 1 COÛTS AUX USAGERS, CONCEPT ET TENDANCES 3
1.1 Notions générales 3
1.2 Coûts du temps de déplacement 7
1.3 Coûts des accidents 8
1.4 Coûts d'opération des véhicules 10
1.5 Coûts environnementaux 11
1.6 Outils pour le calcul des coûts aux usagers 12
1.6.1 Comparaison des coûts d'opération des véhicules HERS v/s HDM-4 16
1.6.2 Comparaison des coûts du temps de déplacement HERS v/s HDM-4 17
1.6.3 Comparaison des coûts des accidents HERS v/s HDM-4 18
1.7 Interaction entre la dégradation des routes et les coûts aux usagers 19

CHAPITRE 2 APPROCHE DES "COÛTS AUX USAGERS" SELON HDM-4 25
2.1 Présentation générale 25
2.2 Coûts du temps de déplacement et coûts d'opération des véhicules 35
2.3 Coûts des accidents 38
2.4 Formules de calcul des coûts aux usagers 39

CHAPITRE 3 AUTOROUTE BONAVENTURE 42
3.1 Historique 42
3.2 Description de la situation actuelle 44
3.3 Informations sur les données à utiliser 45

CHAPITRE 4 DONNÉES ET HYPOTHÈSES UTILISÉES 48
4.1 Choix du tronçon étudié 48
4.2 Données retenues 50
4.3 Choix du type d'intervention 61

CHAPITRE 5 CALCUL DES OPTIONS ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS 67
5.1 Présentation des options d'intervention 67
5.2 Présentation des résultats 68
5.3 Interprétation des résultats 74

CHAPITRE 6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS 77

ANNEXE I COÛTS ANNUELS ADMINISTRATION ET USAGERS (MILLIONS DOLLARS) OPTION 4 79

ANNEXE II COÛTS ANNUELS ADMINISTRATION ET USAGERS (MILLIONS DOLLARS) OPTION 2 80

ANNEXE III COÛTS ANNUELS ADMINISTRATION ET USAGERS (MILLIONS DOLLARS) OPTION 3 81

ANNEXE IV COÛTS ANNUELS ADMINISTRATION ET USAGERS (MILLIONS DOLLARS) OPTION DE BASE 82

ANNEXE V SYNTHÈSE DES INDICATEURS ÉCONOMIQUES (MILLIONS DOLLARS) 83

ANNEXE VI COÛTS AUX USAGERS PAR VÉHICULE DANS L'OPTION DE BASE 84

ANNEXE VII COÛTS AUX USAGERS PAR VÉHICULE DANS L'OPTION 2 ... 86

ANNEXE VIII COÛTS AUX USAGERS PAR VÉHICULE DANS L'OPTION 3 ... 88

ANNEXE IX COÛTS AUX USAGERS PAR VÉHICULE DANS L'OPTION 4 ... 90

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 92

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1.1 Fonctions et changements dans le processus de gestion 5

Tableau 1.2 Comparaison des outils de calcul des coûts aux usagers 13

Tableau 2.1 Fonction de la gestion de chaussées selon HDM-4 28

Tableau 4.1 Conversion de type des véhicules SAAQ – HDM-4 57

Tableau 4.2 Classification de chaussées en fonction de l'IRI 65

Tableau 5.1 Coûts aux usagers par véhicule dans l'option de base 70

Tableau 5.2 Coûts aux usagers par véhicule dans l'option 2 71

Tableau 5.3 Coûts aux usagers par véhicule dans l'option 3 72

Tableau 5.4 Coûts aux usagers par véhicule dans l'option 4 73

Tableau 5.5 Comparaison des réductions des coûts / véhicule – km 74

Tableau 5.6 Efforts budgétaires v/s Réduction des CAU 75

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1.1 Modèle de cycle de gestion de routes selon HDM-4 4

Figure 1.2 Structure des coûts 6

Figure 1.7.1 Dégradation de la route en fonction du temps.....19

Figure 1.7.2 Modèle d'intervention en fonction de l'IRI.....20

Figure 1.7.3 Modèle d'intervention en fonction de l'IRI.....21

Figure 1.7.4 Modèle d'intervention en fonction de l'IRI.....21

Figure 1.7.5 Superposition des trois modèles d'intervention.....22

Figure 1.7.6 Dégradation et coûts aux usagers en fonction du temps.....23

Figure 2.1 Analyse sur la durée de vie 29

Figure 3.1 Emplacement de l'autoroute Bonaventure 43

Figure 4.1 Données de définition 51

Figure 4.2 Données de géométrie 52

Figure 4.3 Données de chaussée 54

Figure 4.4 Données sur l'état existant 55

Figure 4.5 Détails du trafic 59

Figure 4.6 Critère d'intervention 60

Figure 4.7 État après travaux 61

Figure 4.8 Paramètres de conception pour les travaux 63

Figure 5.1 Évolution annuelle de l'IRI 68

Figure 5.2 Coûts d'exploitation moyenne annuelle par véhicule – km
Option de base 70

Figure 5.3 Coûts d'exploitation moyenne annuelle par véhicule – km
Option 2 71

Figure 5.4 Coûts d'exploitation moyenne annuelle par véhicule – km
Option 3 72

Figure 5.5 Coûts d'exploitation moyenne annuelle par véhicule – km
Option 4 73

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ARRB	Australian Road Research Board
AUSTROADS	Association of Australian and New Zealand Road Transport and Traffic Authorities
CAU	Coûts aux usagers
DJMA	Débit journalier moyen annuel
FHWA	Federal Highway Administration
HDM	Highway Design and Management
HPMS	Highway Performance Monitoring System
IRI (UNI)	Indice de rugosité international
LCPC	Laboratoire central des Ponts et Chaussées
MIT	Massachussets Institute of Technology
MTQ	Ministère des Transports du Québec
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
PJCCI	La société « Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée »

RD	Road deterioration
RUE	Road user effects
SAAQ	Société d'assurance automobile du Québec
SEE	Social and Environment Effects
TNM	Trafic non motorisé
TRRB	Transport and Road Research Laboratory
WE	Works effects

INTRODUCTION

L'idée de réaliser ce projet est apparue suite à l'assimilation des notions des coûts aux usagers présentés lors des cours MGC 835 « Évaluation des chaussées » et MGC 840 « Conception et réhabilitation des chaussées ». Il faut avouer que j'ai eu la chance de rencontrer et de bénéficier du meilleur soutien possible de la part d'un des meilleurs spécialistes de taille mondiale dans le domaine des routes, Monsieur Professeur Gabriel J. ASSAF. En plus de ce privilège, mon travail d'estimateur dans les constructions de routes m'a permis de rencontrer parfois, des situations idéales pour mettre en pratique les connaissances acquises lors des cours sus mentionnés.

L'application de la notion des coûts aux usagers est importante sur les axes très circulés. C'est ainsi, qu'à l'automne 2005, lors de la réalisation d'une soumission pour la réfection du revêtement d'un tronçon de l'autoroute Bonaventure, l'idée de réaliser une étude sur les coûts aux usagers par véhicule sur ce tronçon, nous a paru d'intérêt pour un mémoire de maîtrise. En fait, le but de cet exercice est d'obtenir un estimé des économies réalisées aux usagers en utilisant plusieurs simulations d'interventions sur un tronçon d'environ un kilomètre de l'autoroute susmentionnée. Naturellement, il s'agit d'un des tronçons les plus circulés au Québec et la prise en compte du coût réel du transport sur cet axe apparaissait évidente pour aider les décideurs à prendre des décisions éclairées.

Afin d'exploiter au maximum les deux sources d'informations globales, la revue bibliographique et la pratique, ce travail est structuré de la manière suivante. Le chapitre 1 dresse le concept et les derniers développements en matière de coûts aux usagers et justifie le choix de l'outil retenu. Le chapitre 2 est dédié à la présentation de l'outil de gestion utilisant l'approche du calcul des coûts aux usagers, le HDM-4 de la Banque Mondiale. Le chapitre 3 est réservé à la présentation de l'autoroute Bonaventure qui fait l'objet de l'application de l'outil. Pour enchaîner avec le cas réel, le chapitre 4 consiste en l'exposition des données et des hypothèses utilisées lors des calculs réalisés par le logiciel susmentionné. Le chapitre 5 présente les différentes options d'intervention en présentant le

calcul des coûts aux usagers ainsi que l'interprétation des résultats obtenus. En dernier lieu, le chapitre 6, tire les conclusions de l'étude et dresse les recommandations utiles qui en découlent.

CHAPITRE 1

COÛTS AUX USAGERS, CONCEPT ET TENDANCES

1.1 Notions générales

Conformément à l'Office québécois de la langue française, la route est définie comme une : « Voie de communication large et fréquentée, de première importance par opposition au chemin, reliant deux ou plusieurs agglomérations. Voie de grande circulation terrestre de grande importance appartenant à la grande voirie. »

Il y a quatre éléments essentiels dans cette définition, à savoir :

- Communication;
- Fréquentation;
- Importance;
- Relation.

Ces quatre attributs démontrent le degré stratégique de ce qu'une route, voire un réseau de routes, représente de point de vue socio-économique. Et quand on parle de niveau stratégique, on se rend compte toute de suite qu'on a affaire avec de la gestion et avec une entité qui réalise cette gestion. De point de vue gestion, conformément au même Office québécois de la langue française, la gestion est définie aussi comme un :
« Ensemble des activités de planification, de direction et de contrôle nécessaires pour que l'entité atteigne ses objectifs. »

De point de vue entité responsable de la gestion des routes, il y en a plusieurs, les principales étant :

- Le ministère des Transports;
- Les municipalités.

Le but prioritaire de la gestion des routes est de maintenir ces avoirs dans le meilleur état possible afin d'offrir un service confortable et sécuritaire aux usagers. Le meilleur moyen pour assimiler le sens de « maintenir », c'est de présenter les quatre fonctions de la gestion, chacune de ces fonctions étant réalisée comme une séquence d'activités connue sous le nom de cycle de gestion. À ce titre, la figure 1.1 présente le modèle de cycle de gestion des routes selon HDM-4. Le tableau 1.1 dresse les divers niveaux de décision dans les activités principales de la gestion routière.

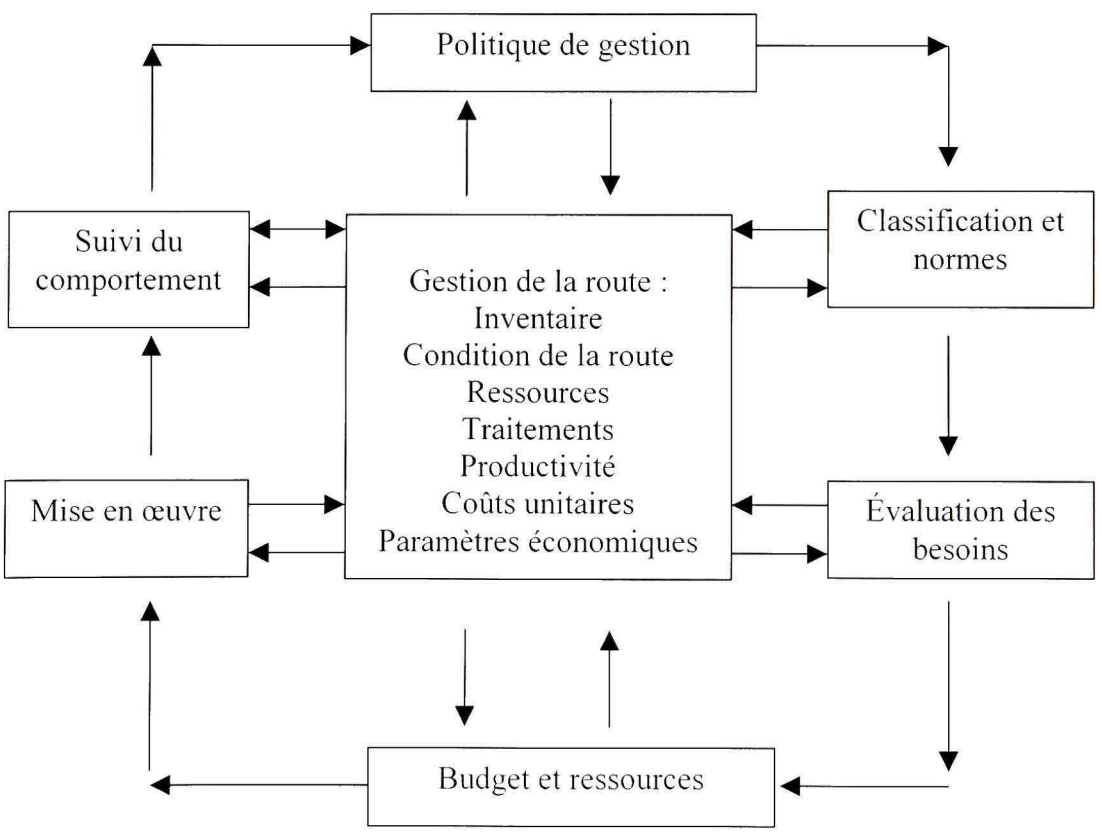


Figure 1.1 ***Modèle de cycle de gestion de routes selon HDM-4***

Source : Robinson et al. (1998)

Tableau 1.1

Fonctions et changements dans le processus de gestion

Activité	Horizon	Personnel responsable	Couverture spatiale	Détail des données	Type de traitement
Planification	Long terme	Cadres supérieurs, Niveau politique	Réseau global	Grossier / synthèse	Automatique
Programmation	Moyen terme (tactique)	Cadres expérimentés Niveau opérationnel	Réseau ou sous réseau	↓	↓
Préparation	Année budgétaire	Jeunes cadres	Niveau chantier / Sections	↓	↓
Réalisation	Immédiat / Très court terme	Techniciens / Cadres subalternes	Niveau chantier / Sous réseau	Fin / détaillé	Interactif

Source: Paterson and Scullion (1990), Paterson and Robinson (1991)

Une autre notion importante est la structure des coûts sur lesquels s'appuie le fonctionnement de gestion de chaussées, à savoir principalement :

- Les coûts de construction;
- Les coûts d'entretien et réhabilitation;
- Les coûts aux usagers.

Afin de mieux comprendre l'interaction de ces coûts, un diagramme de l'évolution coûts en fonction du standard de la route est présenté à la figure 1.2 :

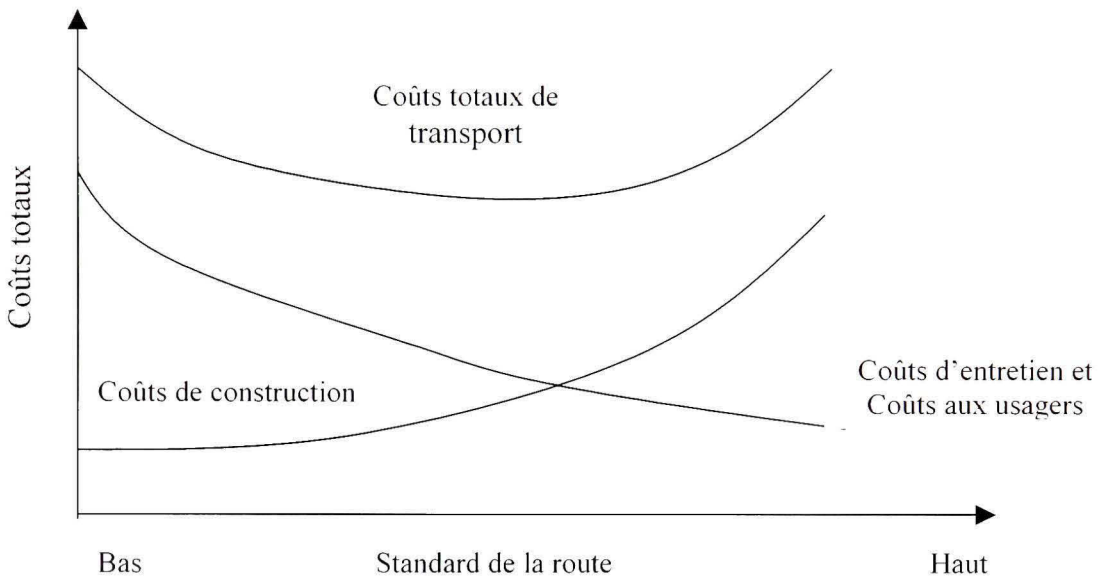


Figure 1.2 ***Structure des coûts***

Source : HDM-4 Volume 1 « Vue d'ensemble »

La tendance actuelle pour définir les coûts aux usagers sur les routes est d'inclure divers paramètres à incidence économique dont la valeur économique :

- Du temps consommé pour se déplacer sur une route en mauvais état ou sur une route congestionnée ;
- Associée à l'incertitude qui affecte la fiabilité et la prévision du temps de déplacement ;
- Des coûts d'opération des véhicules, incluant les carburants, les huiles, l'entretien, ainsi que l'amortissement et la dépréciation des véhicules et de leurs composantes;
- Des accidents, incluant les victimes, les blessures et les dommages des biens ;

- Des effets environnementaux, c'est-à-dire, la pollution avec poussière, bruit ainsi que l'émission des gaz d'échappement.

À ce titre, les notions de coûts aux usagers évoluent vers :

1. L'acquisition de données supplémentaires relatives au temps de déplacement ;
2. Le calage des outils aux conditions locales ;
3. Le développement d'outils informatiques pour accéder facilement à des systèmes préalablement complexes.

Ces innovations visent à évoluer vers des outils moins subjectifs, plus documentés et moins arbitraires ou restrictifs dans leur portée.

À cet effet, on évolue présentement vers des outils plus rationnels, documentés, justifiés scientifiquement et conviviaux pour établir des estimations des coûts aux usagers selon divers scénarios. Ces outils informatisés sont munis d'interfaces et de bases de données afin de les rendre fonctionnels rapidement.

1.2 Coûts du temps de déplacement

Le temps est une ressource qui a une valeur économique. À cet effet, les variantes d'investissement dans les routes prennent en considération le temps économisé par les usagers de la route, économies réalisées tant sur le temps de déplacement au travail que sur le temps du personnel.

Pour évaluer la valeur du temps de déplacement au travail, il y a généralement trois approches :

1. Les modèles de choix, c'est-à-dire, l'analyse des comportements des usagers de la route qui se déplacent pour le travail et dont les résultats sont chiffrés du point de vue horaire;

2. Les études de cas qui prennent en considération différentes dépenses des employés et des employeurs. D'autres études de cas poussent encore plus loin les considérations sur les dépenses liées aux temps de déplacement au travail en y incluant les allocations de repas, le logement, les allocations journalières, etc. ;
3. Les suivis qui sont réalisés sur les camionneurs de longue distance et qui reposent sur la manière d'utilisation des économies du temps de déplacement au travail réalisées.

Quand à l'évaluation de la valeur du temps de déplacement personnel, il y a généralement quatre approches :

- Les modèles de choix, c'est-à-dire, la volonté des usagers de la route de choisir une option de transport du point « A » au point « B » à travers plusieurs choix ;
- Les modèles de demande de déplacement. Ce concept prend en considération la disposition des gens à payer plus cher pour réduire le temps de déplacement personnel ;
- Les études de marché sur les usagers de la route vis-à-vis de la question suivante : « Combien êtes-vous disposés à payer plus cher pour bénéficier d'une réduction substantielle du temps de déplacement personnel? » ;
- Les modèles d'estimation en fonction des différentes vitesses de déplacement souhaitées sur certains tronçons. À noter que ces modèles sont utilisés dans des zones où l'alternative du transport en commun existe.

1.3 Les coûts des accidents

Les accidents routiers représentent un facteur important dans la conception des routes et une mesure d'efficience du transport routier.

Aussi, plusieurs routes sont génératrices d'un nombre élevé d'accidents causant des pertes matérielles, humaines et des blessures. Par conséquent, le fait d'améliorer la sécurité routière devient de plus en plus prioritaire. Afin d'évaluer les économies dues à l'amélioration de la sécurité routière, il faut quantifier :

1. La réduction du nombre d'incidents routiers ;
2. La réduction du nombre des risques auxquels les usagers de la route sont soumis.

Pour arriver à mesurer les bénéfices et les réductions des coûts suite à l'amélioration de la sécurité routière, il faut d'abord compiler les pertes associées aux accidents, notamment :

- La fréquence et les types d'accidents;
- Les coûts des accidents.

Ces paramètres sont évalués en fonction des taux des accidents, des taux des blessures et des taux de victimes.

Quand aux coûts des accidents, plusieurs approches ont été utilisées dont la plus populaire est la valeur de la vie vue dans le sens de « combien on est disposé à payer plus cher afin d'éviter un accident mortel ? ».

Pour chiffrer ces coûts, trois techniques ont été mises au point.

- Les études sur le coût de la main d'œuvre ;
- Les études de comportement des consommateurs ;
- Les questionnaires.

La première technique calcule une augmentation salariale moyenne pour les employés qui acceptent l'augmentation d'une « unité » de risque.

La deuxième technique calcule la disponibilité des consommateurs à payer plus cher pour un niveau de sécurité accrue.
La troisième technique consiste à questionner les usagers sur leur disponibilité à payer plus cher afin d'éviter un certain risque ou encore à classer les niveaux d'importance des risques auxquels ils sont soumis.

1.4 Les coûts d'opération des véhicules

Les coûts d'opération des véhicules sont les coûts que les usagers de la route connaissent le mieux, pour la simple raison qu'ils impliquent des déboursements rapides. Il y a cinq composantes de ces coûts. Il s'agit de :

1. La consommation de carburant ;
2. La consommation d'huile ;
3. Les réparations et entretien ;
4. L'usure des pneus ;
5. La dépréciation générale du véhicule due aux conditions routières.

Chaque composante est à son tour une fonction unique dépendant de :

- La classe de véhicule ;
- La vitesse du véhicule ;
- Le type de revêtement ;
- L'état de la surface de la route.

En résumé, le fait de mesurer les coûts d'opération des véhicules consiste à :

1. Identifier la quantité de chaque type de ressource pour se déplacer d'un point « A » à un point « B »
2. Identifier le coût unitaire de la consommation de ressource

Tenant compte des différents points de vue sur ce sujet, plusieurs institutions dont *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), la Federal Highway Administration (FHWA)*, la Banque Mondiale (BM), *Australian Road Research Board*

(ARRB), ont développé leurs propres modèles d'évaluation des coûts d'opération des véhicules.

1.5 Les coûts environnementaux

Depuis près d'une vingtaine d'années, l'aspect des coûts environnementaux liés à l'exploitation routière a connu un véritable développement au point que toutes les conceptions et les modifications routières prennent aujourd'hui en considération la nécessité de réduire ces coûts. Aussi, les analyses réalisées sur les effets environnementaux ont identifié deux des composantes les plus importantes :

- L'émission des gaz d'échappement ;
- Le bruit généré par les transports routiers.

Afin de réaliser une stratégie d'action sur le contrôle des coûts environnementaux, quatre aspects sont généralement pris en compte :

1. Le calcul de la quantité des émissions ;
2. La détermination de la modalité de transport des agents polluants ;
3. L'estimation de l'impact sur les victimes de la pollution ;
4. L'établissement d'une valeur monétaire des dégâts, propre pour chaque type d'agent polluant.

La mesure des effets environnementaux est réalisée par des modèles qui utilisent des relations techniques entre l'émission des gaz d'échappement, la technologie automobile, les conditions de trafic et les conditions du site.
L'évaluation de ces coûts reste quand même un domaine propre pour chaque administration routière et cela à cause des conditions différentes d'action de chaque type de polluant.

1.6 Outils pour le calcul des coûts aux usagers

À l'heure actuelle il y a au moins une dizaine de modèles de calcul des coûts aux usagers, modèles dans lesquels on retrouve souvent les mêmes approches mais chacun ayant ses propres éléments distinctifs. Le tableau 1.2 présente une synthèse des caractéristiques des sept (7) modèles les plus importants de calcul des coûts d'opération des véhicules.

Tableau 1.2

Comparaison des outils de calcul des coûts aux usagers

	HDM IV	HERS	HPMS	HIAP	ARFCOM	COBA-9	Strat BENCOST
Auteur	World Bank	FHWA (ÉU)	FHWA (ÉU)	FHWA (ÉU)	Australian Road Res. Bord	Reynolds and Dawson (GB)	Hickling Lewis Brod Inc. (ÉU)
Système	Mainframe et PC	Mainframe et PC	Mainframe	Mainframe	PC	Mainframe	PC
But principal	Gestion entretien et échéanciers	Analyse réseau pour budgets	Analyse réseau pour budgets	Analyse réseau et projet pour budgets	Gestion du système de trafic	Analyse réseau	Analyse réseau et projet
Relations	Statist. et mécan.	Statistiques	Statistiques	Statistiques	Mécanistiques	Statistiques	Statistiques
Analyse	Projet et réseau	Projet et réseau	Projet et réseau	Projet et réseau	Projet et réseau	Projet et réseau	Projet et réseau
Type de véhicules	Par défaut + choix d'utilisateur	Par défaut + choix d'utilisat.	Par défaut + choix d'utilisateur	Par défaut + choix d'utilisateur	Par défaut + choix d'utilisateur	Par défaut	Par défaut

	HDM IV	HERS	HPMS	HIAP	ARFCOM	COBA-9	Strat BENCOST
Variables de la route	Type de pavage, texture, rugosité, surélévation, courbure, déclivité	Type de pavage, texture, rugosité, surélévation, courbure, déclivité	Type de pavage, texture, rugosité, courbure, déclivité	Type de pavage, texture, rugosité, courbure, déclivité	Type de pavage, texture, rugosité, surélévation, courbure, déclivité	Déclivité et courbure	Déclivité et rugosité
Coûts d'opération des véhicules	Carburant, huile pneus, déprec. Entretien, intérêt	Carburant, huile pneus, déprec. entretien	Carburant, huile pneus, déprec. entretien	Carburant, huile pneus, déprec. entretien	Carburant	Carburant, huile pneus, déprec. entretien	Carburant, huile pneus, déprec. Entretien
Valeur du temps	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui
Coûts des accidents	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui
Environnement	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui

Source: « Road user and mitigation costs in highway pavement projects », Synthesis 269 NCHRP

Les deux premiers outils sont les plus importants et les plus connus, il s'agit de HERS-ST et de HDM-4. C'est pour cela que le choix d'outil à utiliser dans le cadre du présent mémoire provient d'une analyse comparative de ces deux outils.

Le *Highway Economic Requirements System – State Version* (HERS-ST) est un système de calcul des investissements et de la rentabilité en gestion des chaussées. Il s'agit de la version améliorée de HERS, le système utilisé par l'Administration Fédérale des Autoroutes des États Unis (FHWA), depuis 1995, en vue d'estimer les investissements nécessaires dans l'entretien ou le développement du réseau national américain des routes et autoroutes. Il s'appuie sur des principes d'ingénierie et d'économie dans l'évaluation de l'impact et de la rentabilité des différentes alternatives d'investissement, pour l'administration et pour les usagers.

HERS réalise des simulations de l'évolution de l'état de la route et du niveau de rentabilité des investissements pour les stratégies qui lui sont soumises. La sélection de l'alternative la plus appropriée repose sur des critères économiques. De manière générale, HERS est conçu pour retenir les projets où les bénéfices actualisés excèdent les coûts initiaux. En ce qui concerne les bénéfices, ils sont représentés par la réduction des coûts d'entretien, des coûts aux usagers et des coûts externes. Les coûts relèvent du capital initial investi.

La structure logique de HERS-ST repose sur des connaissances d'ingénierie et de microéconomie appliquées. Les relations entre le volume de trafic, la détérioration du revêtement, la vitesse, les accidents, les courbes et les pentes, le coût du temps de déplacement, etc. sont basées sur les notions techniques connues. L'évaluation des projets d'amélioration utilise un plan cadre bénéfice – coût qui est en réalité une application des notions de microéconomie. Le plan cadre conduit au choix de relations techniques à utiliser pour estimer les bénéfices à travers les économies de temps, la réduction de la pollution et la réduction des coûts d'opération des véhicules.

De point de vue structure des concepts, HERS-ST réalise et évalue plusieurs options d'amélioration sur chaque section de route pour une seule période de financement en répétant le processus pour les prochaines périodes de financement. Les multiples options d'amélioration sont en fait des différentes combinaisons des trois types d'amélioration : pavage, élargissement et tracé. HERS commence par analyser si une déficience devrait être prise en considération pour la présente période de financement. Une liste des solutions techniques d'amélioration est générée et chiffrée. Les bénéfices et les coûts de chaque solution technique sont calculés, la meilleure solution étant retenue. Ces trois étapes, i.e. proposition des solutions, impact et évaluation constituent le processus même d'évaluation de projet.

En ce qui concerne les coûts aux usagers, on distingue trois composantes :

- Coût d'opération des véhicules
- Coût du temps de déplacement
- Coûts des accidents

1.6.1 Comparaison des coûts d'opération des véhicules HERS v/s HDM-4

Principalement, les coûts d'opération des véhicules dans les deux outils, HERS et HDM-4, comportent les mêmes variables. Il s'agit de :

- La vitesse moyenne effective ;
- Le type de revêtement ;
- La variation de la vitesse de déplacement ;
- Le caractère non linéaire de l'alignement horizontal.

Les différences entre les deux visions proviennent des aspects suivants:

1) La flotte de véhicules utilisée dans HERS est complète et caractérise bien le trafic nord-américain mais elle ne peut pas être modifiée. Par contre, dans HDM-4, la flotte de véhicules représente un point fort de ce logiciel grâce à sa capacité d'être amplement modifiée par l'utilisateur. En conséquence, le système HDM-4 est beaucoup favorisé.

2) En plus des quatre variables susmentionnées agissant sur les coûts d'opération des véhicules, le système HDM-4 utilise aussi d'autres éléments qui ne peuvent qu'améliorer les résultats obtenus. Ces autres éléments sont :
   - la puissance du moteur de chaque véhicule pris en considération
   - l'adhérence des pneus à la surface de roulement
   - le coefficient aérodynamique du véhicule

1.6.2 Comparaison des coûts du temps de déplacement HERS v/s HDM-4

Le calcul des coûts du temps de déplacement est réalisé d'une manière similaire dans les deux outils, HERS et HDM-4. Il s'agit du temps de déplacement au travail et temps de déplacement personnel.

Les principales différences entre les deux outils, de point de vue temps de déplacement, consistent dans les faits suivants:

1) Dans HERS, tous les camions de plus de 6 roues sont considérés des véhicules pour lesquels il n'y a que du temps de déplacement pour travail. Il n'y a pas du temps de déplacement personnel calculé pour ces types de véhicules.
2) Dans HERS, il y a un degré d'occupation de véhicule qui est propre à chaque type de véhicule en fonction du type de temps de déplacement (personnel ou travail)
3) Toujours dans HERS, le calcul est réalisé à partir des valeurs propres à l'année 1995 auxquelles on applique des facteurs d'ajustement fournis par les indices de coûts de la vie.
4) Dans HDM-4, il y a deux concepts supplémentaires par rapport à HERS et il s'agit du temps d'équipage ainsi que du temps de chargement / déchargement des marchandises. Évidemment, ces ajouts ne peuvent que favoriser le logiciel HDM-4.

1.6.3 Comparaison des coûts des accidents HERS v/s HDM-4

En ce qui concerne le calcul des coûts des accidents dans les deux outils HERS et HDM-4, il y a beaucoup de ressemblances, les principes étant les mêmes. En fait, les deux outils suivent trois étapes dans le calcul de ces coûts des accidents.Il s'agit de :

- Compilation / établissement du nombre d'accidents;
- Calcul des taux « blessés / accident » et « victimes / accident »;
- Multiplication des paramètres des coûts par les facteurs appropriés afin de trouver les coûts totaux des accidents.

Les différences entre les deux visions proviennent des aspects suivants :

1) Ce qui différencie vraiment les deux outils c'est le caractère plus convivial du HDM-4. Ainsi, dans HDM-4, les tableaux qui trouvent les taux d'accidents peuvent être modifiés par l'utilisateur, chose qui est impossible en HERS.

2) Contrairement à HDM-4, HERS chiffre aussi les pertes de vie, pas seulement les dommages matériaux et les coûts de rétablissement des blessés.

Une fois les différences des coûts aux usagers étant dévoilées, il reste encore deux éléments importants qui font la différence dans l'avantage de HDM-4, soit :

1) HDM-4 prend en considération les effets socio-économiques et environnementaux, qui comprennent les émissions des véhicules, le bruit et aussi les avantages pour les populations desservies par la route.

2) HDM-4 possède une meilleure architecture pour réaliser des analyses de projet grâce à la possibilité donnée à l'utilisateur de changer des données et des configurations offertes par défaut.

1.7 Interaction entre la dégradation des routes et les coûts aux usagers

Les routes se dégradent avec le temps et l'intervention des gestionnaires routiers est nécessaire pour que le niveau de confort et de sécurité de ces routes soit raisonnable. Mais ce n'est pas seulement le niveau de confort et de sécurité qui compte, il y a aussi les usagers avec leurs dépenses relatives à l'utilisation des routes. Généralement, les gestionnaires appliquent un entretien de routine suivi, selon le cas, par différents types d'interventions. Il faut savoir que même si l'entretien de routine est appliqué rigoureusement, la dégradation continue sa croissance tant que les interventions se font attendre. Ainsi, à un moment donné « i », la dégradation d'une route sur laquelle on applique seulement l'entretien de routine correspond à une valeur « i » de l'IRI (Indice de rugosité international). Pour un moment antérieur à « i », soit « i-1 », la dégradation de la route correspondait à une valeur « i-1 » de l'IRI, inférieure à « i », donc au moment « i-1 » l'état de la route était meilleur qu'au moment « i ». Par contre, à un moment ultérieur à « i », soit « i+1 », la dégradation de la route correspond à une valeur « i+1 » de l'IRI, supérieure à la valeur « i », donc au moment « i+1 », l'état de la route sera pire qu'au moment « i ». Cette évolution est représentée dans la figure 1.7.1

Dégradation de la route en fonction du temps

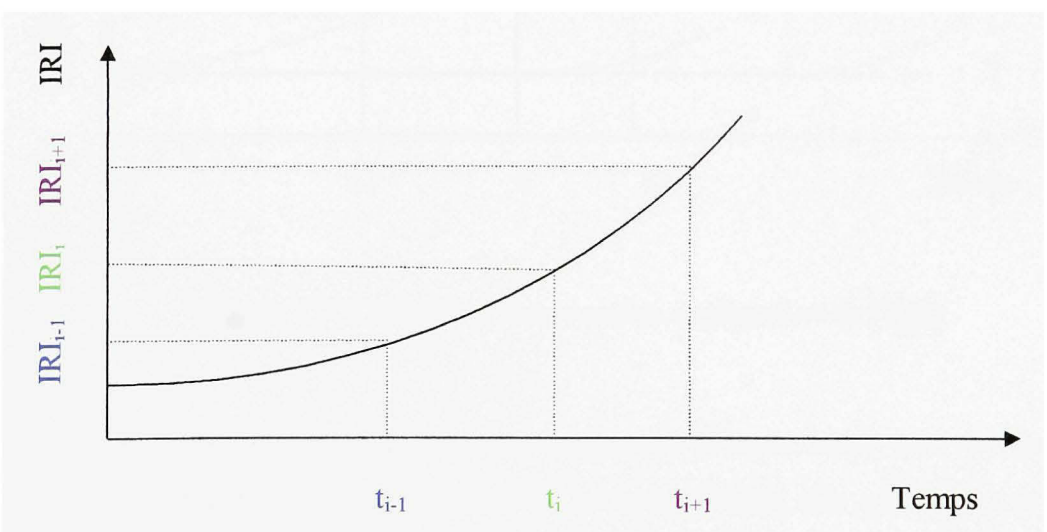


Figure 1.7.1 ***Dégradation de la route en fonction du temps***

En regardant la figure 1.7.1, la question qui se pose se réfère au meilleur moment pour intervenir sur la route afin de la rendre à sa qualité initiale ou presque. Il y a trois moments dans la figure, soit « i », « i-1 » et « i+1 ». Supposant que le meilleur moment, pour les usagers de la route, serait « i », alors dés que l'IRI atteint la valeur « i » une intervention est programmée afin que la qualité redevienne maximale, i.e. la valeur de l'IRI égale à 1. Pour mieux visualiser cette supposition, la figure 1.7.2, représentant le modèle d'intervention en fonction de l'IRI_i, est présentée ci-dessous.

Modèle d'intervention en fonction de l'IRI_i

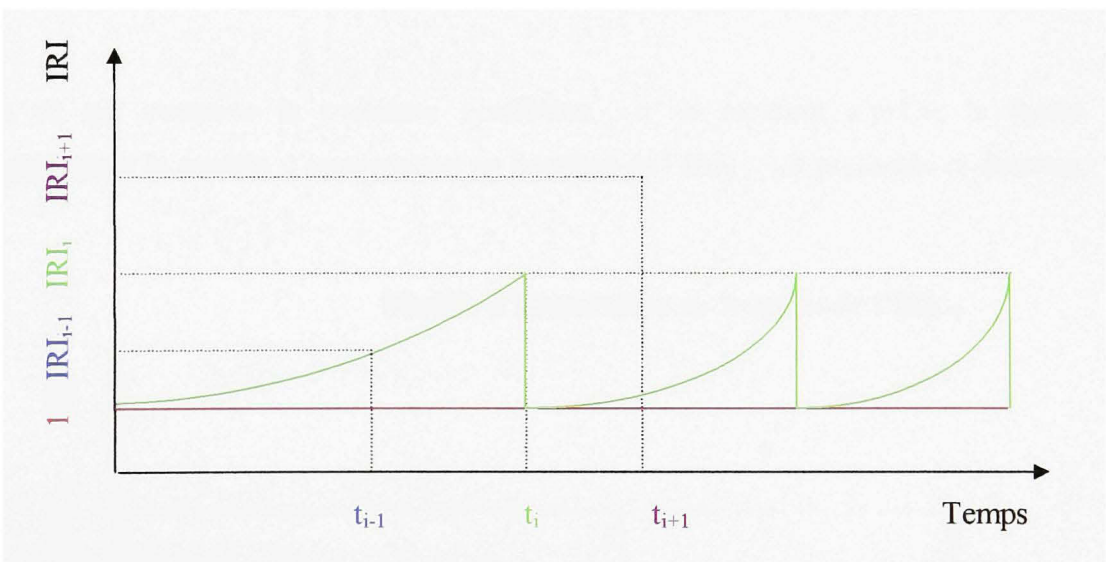


Figure 1.7.2 ***Modèle d'intervention en fonction de l'IRI$_i$***

Par contre, si le meilleur moment, pour les usagers de la route, serait « i-1 », alors dés que l'IRI atteint la valeur « i-1 » une intervention est programmée afin que la qualité redevient maximale, i.e. la valeur de l'IRI égale à 1. Pour mieux visualiser cette possibilité, la figure 1.7.3, représentant le modèle d'intervention en fonction de l'IRI_{i-1}, est présentée ci-dessous.

Modèle d'intervention en fonction de l'IRI_{i-1}

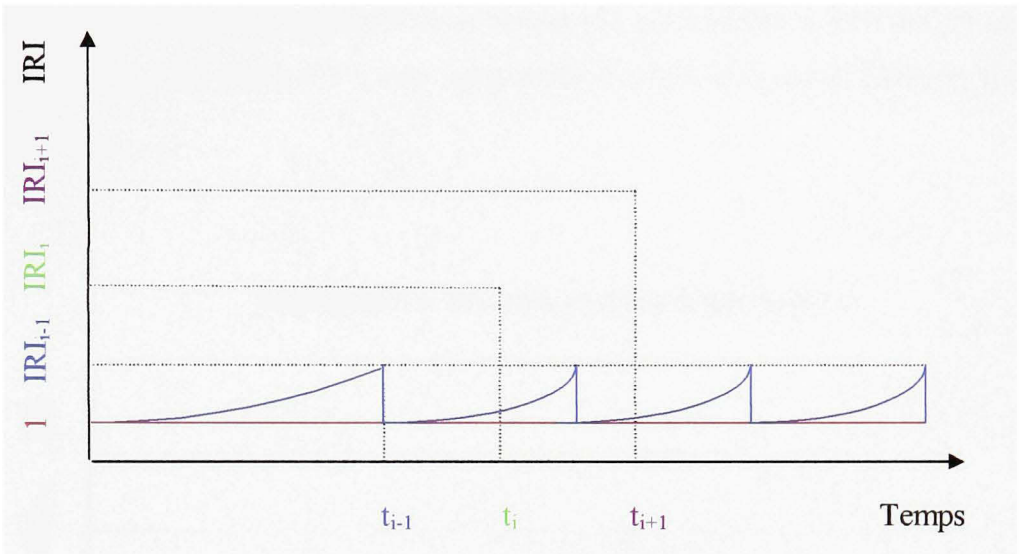


Figure 1.7.3 ***Modèle d'intervention en fonction de l'IRI_{i-1}***

En ce qui concerne la troisième possibilité, i.e. le moment « i+1 », la figure 1.7.4, représentant le modèle d'intervention en fonction de l'IRI_{i+1}, est présentée ci-dessous.

Modèle d'intervention en fonction de l'IRI_{i+1}

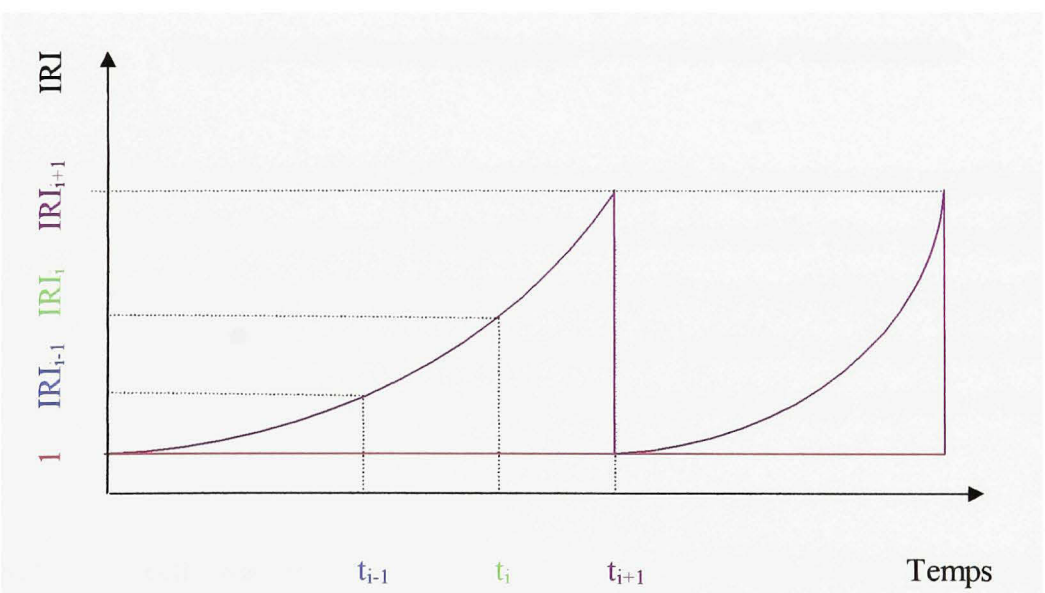


Figure 1.7.4 ***Modèle d'intervention en fonction de l'IRI_{i+1}***

Pour avoir une vision d'ensemble avec toutes ces possibilités d'intervention à partir des moments « i », « i-1 » et « i+1 », une superposition de ces trois possibilités est présentée à la figure 1.7.5.

Superposition des trois modèles d'intervention

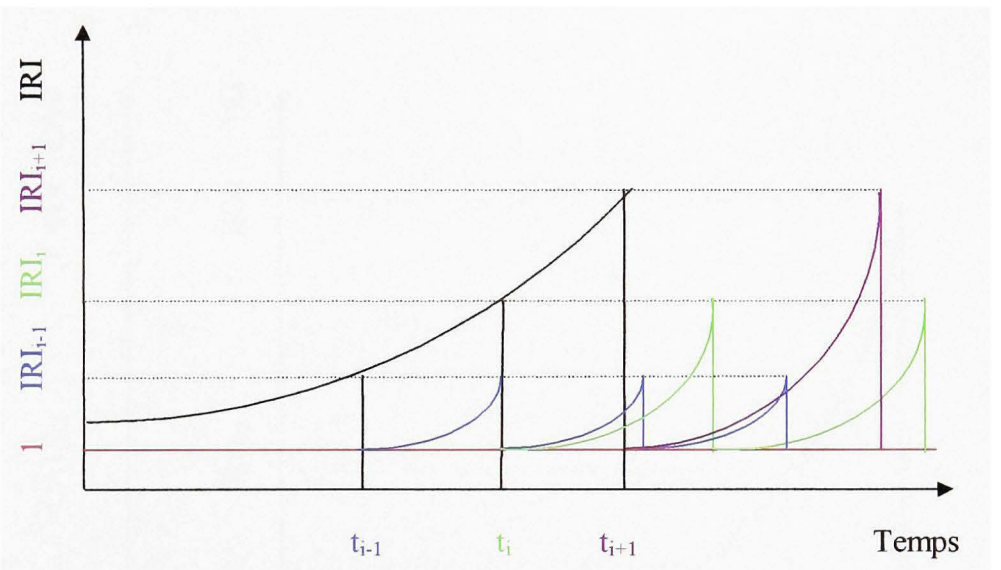


Figure 1.7.5 ***Superposition des trois modèles d'intervention***

Une fois tous ces trois modèles d'intervention présentés, la question qui se pose maintenant se réfère à la durée d'analyse de ces possibilités d'intervention. Pour un tronçon de route, une analyse à moyen ou longue terme pourrait prendre un intervalle de 15 ans. Pendant ce temps, les usagers de la route subissent des coûts qui reflètent la qualité de la route. Ainsi, les montants de ces coûts aux usagers totaux diffèrent dans les trois modèles d'intervention, soit « i », « i-1 » et « i+1 ».

D'autre part, cette analyse ne peut pas avoir un caractère pratique si on exclut l'option « par défaut », i.e. l'entretien de routine seulement. En d'autres mots, cette analyse pourrait faire

la liaison entre la dégradation des routes et les coûts aux usagers associés aux options (ou modèles) d'intervention, y compris l'option entretien de routine seulement. Afin de mieux visualiser cette interaction entre la dégradation des routes et les coûts aux usagers, la figure 1.7.6 est présentée ci-dessous :

Dégradation et coûts aux usagers de la route en fonction du temps

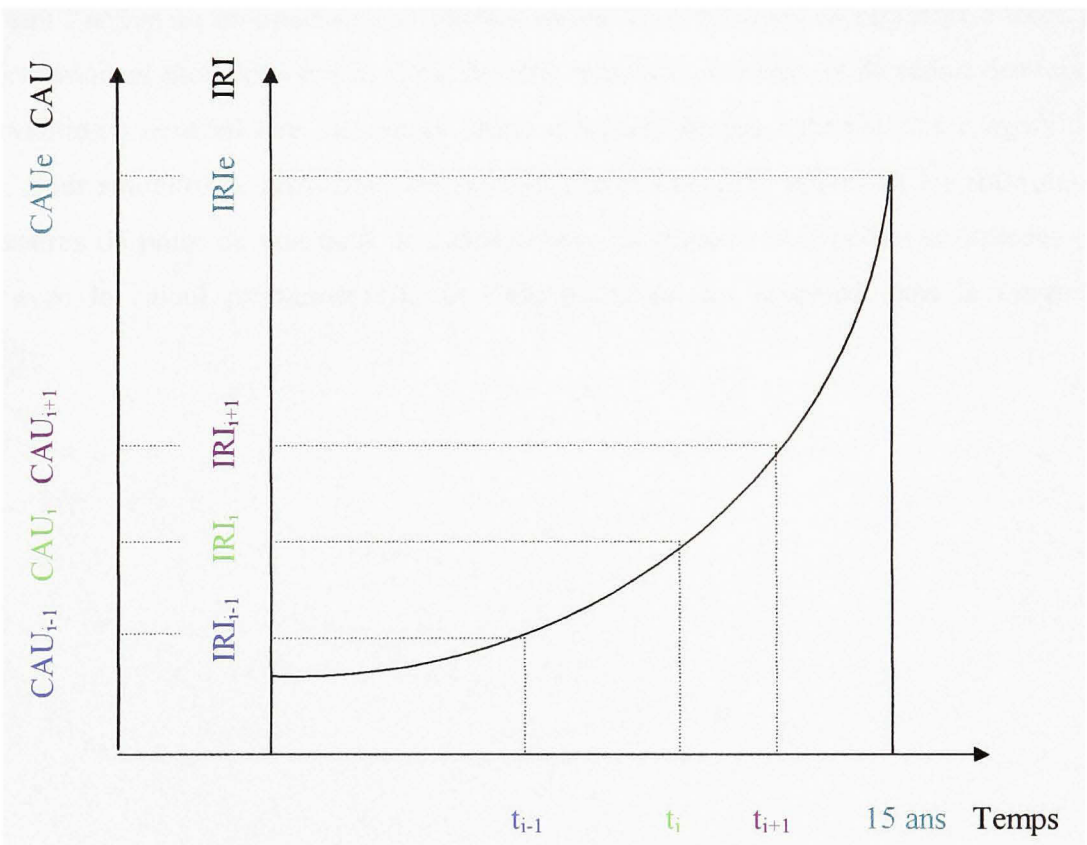


Figure 1.7.6 ***Dégradation et coûts aux usagers en fonction du temps***

En regardant la figure 7.6, l'évolution de la dégradation d'une route après 15 ans, dans le cas de l'entretien de routine seulement, atteint la valeur IRI_e. Correspondant à cette dégradation, il y a les coûts aux usagers CAU_e. Le même type de correspondance se retrouve aussi dans les trois modèles d'intervention. Ainsi, pour le modèle « i », il y a un

total des coûts aux usagers après 15 ans de CAU_i. La même logique s'applique dans les cas « i-1 » et « i+1 ».

Une analyse très intéressante à faire serait de trouver les économies réalisées en coûts aux usagers entre les quatre options, y compris celle de l'entretien de routine, étant donnée la succession dans le temps des trois interventions. En d'autres mots quelles sont les économies réalisées en actionnant au moment « i-1 », quelles sont les économies en reportant l'action au moment « i » et quelles seront les économies en reportant encore plus l'intervention au moment « i+1 ». C'est de cette manière que l'impact du report des travaux (interventions) pourrait être mesuré en terme d'argent, du point de vue des usagers de la route. Pour résoudre ce problème, les trois prochains chapitres apportent les informations nécessaires de point de vue outil de calcul, choix du tronçon et hypothèses utilisées pour finir avec le calcul proprement dit et l'interprétation des résultats dans le cinquième chapitre.

CHAPITRE 2

APPROCHE DES "COÛTS AUX USAGERS" SELON HDM-4 (HIGHWAY DESIGN AND MANAGEMENT)

2.1 Présentation générale

HDM-4 est la dernière version d'un outil développé par la Banque Mondiale qui a été utilisé durant plus d'une vingtaine d'années pour évaluer sur des bases techniques et économiques des projets routiers ainsi que pour programmer des investissements routiers et analyser les stratégies des réseaux routiers. Le début de cette réalisation remonte en 1968 quand la Banque Mondiale a réalisé, en collaboration avec *Transport and Road Research Laboratory* (TRRL) et avec le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), une première étude de conception des routes. Par après, la Banque Mondiale a commissionné *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) pour développer un modèle dans lequel des interactions entre les coûts des travaux routiers et les coûts d'exploitation des véhicules apparaissent. C'est ainsi que le Modèle du Coût de la Route (*Highway Cost Modes* – HCM) est né. Ce modèle a réussi de faire valoriser les domaines où de nouvelles recherches étaient nécessaires afin de remplacer les anciennes méthodes de conception qui se sont avérées inappropriées aux conditions existantes dans les pays en voie de développement. Suite à des recherches réalisées partout dans le monde, mais notamment Caraïbes, Inde et Brésil, le TRRL a produit la première version du modèle d'investissement dans le transport routier (*Road Transport Investment Model RTIM*) et la Banque Mondiale a réalisé la première version du modèle pour la conception et l'entretien des routes (*Highway Design and Maintenance Standards Model* – HDM).

Les multiples versions de ce modèle ont été utilisées par après dans différentes pays afin de justifier l'augmentation des budgets de réhabilitation et d'entretien des routes ainsi que pour accroître les avantages économiques pour les usagers de la route. Tout de même, une remise

à plat fondamentale des différents modèles afin de pouvoir prendre en compte une gamme plus large de chaussées et conditions d'usage était nécessaire. Plus encore, il était temps d'intégrer les résultats des nombreuses recherches qui avaient été entreprises dans le monde surtout dans les pays en voie de développement. Cependant, il ne faut pas négliger que pendant les dernières années les pays industrialisés ont commencé à faire usage du modèle, réalité qui a poussé vers la nécessité d'inclure de nouvelles fonctionnalités à l'intérieur de la dernière génération du modèle HDM-4, fonctionnalités parmi lesquelles on mentionne :

- Les effets de la saturation du trafic;
- Les effets des climats froids;
- Une gamme plus large de types et structures de chaussées;
- La sécurité routière;
- Les effets sur l'environnement.

Pour bien comprendre les applications de HDM-4, il faudrait présenter les quatre fonctions de la gestion des routes et il s'agit de :

- Planification;
- Programmation;
- Préparation;
- Réalisation.

En ce qui concerne la planification, elle implique l'analyse du système routier dans son ensemble. À ce niveau, le système routier est décrit de point de vue physique par :

- Classe de route;
- Trafic, charges, saturation du trafic;
- Types de chaussées;
- État de chaussée.

Quand à la programmation, elle implique la préparation, ayant toujours des contraintes budgétaires, de programmes pluriannuels de travaux pour lesquels les sections susceptibles de nécessiter des travaux sont sélectionnées et analysées. Le réseau routier est décrit de point de vue physique comme un ensemble des liaisons, chaque liaison étant caractérisée par des sections homogènes de chaussée définies par des attributs physiques. En fait, la programmation produit des évaluations pour différents types de travaux et pour différentes années à chaque section de route. Le point fort de la programmation devrait être la fixation des priorités assurant le meilleur usage du budget limité.

De point de vue préparation, on peut admettre qu'il s'agit d'une planification à court terme où les projets sont finalisés et prêts pour la mise en œuvre. Des travaux sur des sections adjacentes ou proches pourront quand même s'ajouter aux projets finalisés à condition que les chantiers prennent des dimensions plus rentables de point de vue exécution. L'activité fondamentale de cette phase consiste dans le dimensionnement détaillé des travaux de rechargement ainsi que des travaux importants.

La dernière fonction du processus de gestion de routes, la réalisation, constitue le fonctionnement courant d'une organisation routière. Les décisions sur la direction des opérations sont prises sur une base journalière et hebdomadaire. Les activités sont concentrées sur des sections ou même sous-sections des routes. Arrivé à ce point de la gestion, il faudrait mentionner que le niveau de détail exigé arrive au niveau raffiné par rapport au niveau grossier existant au début de la gestion, ça veut dire au niveau planification.
Pour mieux visualiser ces fonctions de la gestion de chaussées, un tableau représentatif est présenté ci-dessous, soit le tableau 2.1 :

Tableau 2.1

Fonctions de la gestion de chaussées selon HDM

Fonction de gestion	Description courante	Applications HDM-4
Planification	Analyse stratégique Planification de réseau Gestion des chaussées	Analyse de Stratégie
Programmation	Analyse de programme Gestion des chaussées Budgétisation	Analyse de programme
Préparation	Analyse de projet Gestion des chaussées Gestion des ouvrages d'art Dimensionnement des chaussées neuves Marchés de sous-traitance	Analyse de projet
Réalisation	Analyse de projet Gestion de l'entretien Gestion du matériel Gestion financière	Ne fait pas l'objet de HDM-4

Source : Kerali, Paterson and Robinson (1998)

De point de vue Structure Analytique, HDM-4 s'appuie sur le concept de l'analyse de la durée de vie de la chaussée. Ce concept est appliqué, sur l'ensemble de la durée de vie, afin de prédire :

- La dégradation des routes;
- Les effets des travaux routiers;

- Les effets sur les usagers;
- Les effets socio-économiques et environnementaux.

Afin de visualiser le concept d'analyse sur la durée de vie, une représentation graphique est présentée ci-dessous dans la figure 2.1.

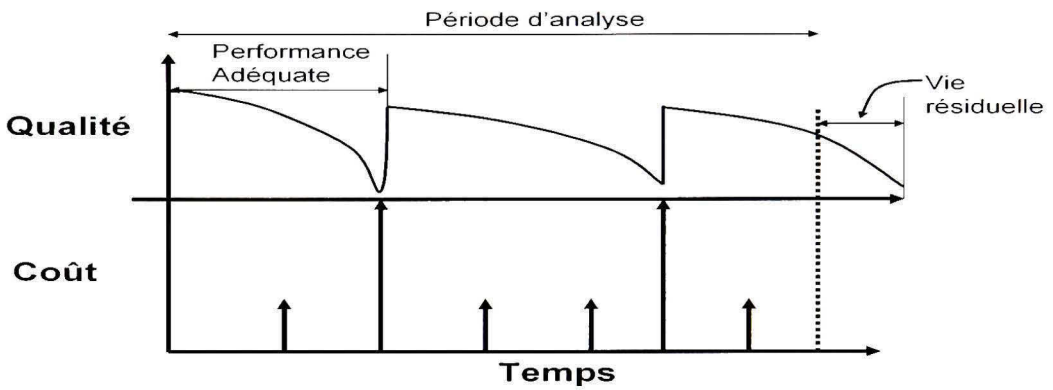


Figure 2.1 ***Analyse sur la durée de vie (HDM)***

Source : Assaf 2005, « *Life Cycle Cost Analysis* »(LCCA)

Pour mieux comprendre ces applications du concept de l'analyse de la durée de vie des chaussées, il faut commencer par identifier les facteurs qui provoquent la dégradation de la route, ces facteurs étant :

- Les charges;
- Le climat;
- Le mauvais fonctionnement des systèmes de drainage.

En ce qui concerne les effets des travaux routiers, il faudrait mentionner que c'est grâce à ces travaux les routes sont maintenu à supporter les trafics pour lesquels ont été conçues. Ces travaux sont classifiés en deux catégories, c'est-à-dire, des travaux pour remédier les

défauts de surface (fissuration, arrachement, nids de poule, etc.) et des travaux pour préserver l'intégrité structurelle des chaussées (enduits superficiels, rechargements, etc.).
De point de vue effets sur les usagers, l'impact est calculé en coût aux usagers, ces coûts faisant appel directement sur :

- Les coûts d'exploitation des véhicules, comme le carburant, les pneus, les lubrifiants, les pièces détachées, amortissement, frais généraux, etc.;
- Le coût du temps de déplacement pour les passagers et marchandises transportées;
- Le coût des accidents comme les pertes de vies, blessures des usagers, dommages aux véhicules et objets riverains.

Quand aux effets socio-économiques et environnementaux, ils comprennent les émissions des véhicules, la consommation d'énergie, le bruit et aussi les avantages pour les populations desservies par la route.

De point de vue Applications de HDM-4, trois outils d'analyse sont utilisés pour les différents environnements routiers et il s'agit de :

- Analyse de stratégie;
- Analyse de programme;
- Analyse de projet.

En ce qui concerne l'analyse de stratégie, elle traite des réseaux et des sous réseaux gérés par une seule organisation. Pour arriver à calculer les besoins à moyen ou long terme d'un réseau ou d'un sous réseau, HDM-4 utilise le concept de la matrice de réseau. Ce concept réalise la décomposition du réseau en fonction des paramètres clé qui ont le plus de poids sur le comportement des chaussées et sur les coûts aux usagers. À cet effet, une matrice de réseau prend généralement en compte les suivants paramètres :

- Le volume du trafic et les charges;
- Les types de chaussées;
- L'état des routes;
- L'environnement et les zones climatiques;
- La classification fonctionnelle.

Étant donné le fait qu'une matrice de réseau représente le choix de l'utilisateur, le défi du celui-ci reste de trouver le meilleur compromis entre une matrice représentative simple, avec des résultats grossiers et une matrice détaillée, susceptible de fournir des résultats plus précis. Les applications classiques d'une analyse de stratégie pourront être les suivantes :

- Les besoins financiers pour des normes d'entretien à moyen ou long terme;
- La prévision du comportement du réseau à long terme dans différentes hypothèses de financement;
- L'allocation optimale des ressources entre les différentes lignes budgétaires;
- L'allocation optimale des ressources aux différents sous réseaux;
- Les études de politique routière.

Le deuxième outil d'analyse utilisé dans les applications du HDM-4, l'Analyse de Programme, aide à la répartition par ordre de priorité, dans le cadre d'un programme annuel ou pluriannuel, d'une liste des projets routiers définis en fonctions des contraintes financières imposées. Le critère de sélection devrait être choisi en fonction des normes d'entretien ou d'aménagement que l'administration aura déjà établies. Quelques exemples de types de critères à utiliser afin d'identifier les projets concurrents sont présentés ci-dessous :

- Les seuils d'entretien périodique (pourcentage minimum de dégradation de surface pour l'application d'un enduit);
- Les seuils d'aménagement (pourcentage minimum du rapport débit / capacité pour qu'un élargissement puisse être envisagé);

- Les normes de reclassement (une valeur minimum établie du débit journalier moyen annuel pour laquelle l'option de revêtir une route non revêtue pourrait être réalisable).

Une fois que tous les projets concurrents ont été identifiés, l'analyse de programme peut être utilisée afin de comparer les coûts sur la durée de vie, dans la solution sans changement (option sans projet), ainsi que dans l'option envisagée (option avec projet). La comparaison des coûts fournit par suite l'estimation des avantages économiques pour chaque projet.
Ce qui est à remarquer dans cette étape est la différence principale entre l'analyse de stratégie et l'analyse de programme, c'est-à-dire, la façon dont les sections sont identifiées de point de vue physique. Pour être encore plus détaillé, l'analyse de programme traite les sections comme étant des unités physiques identifiables du réseau routier. Par contre, l'analyse de stratégie regroupe les sections et les liaisons qui ont des caractéristiques similaires dans les catégories de la matrice du réseau routier. Finalement, sur ces deux types d'analyse, la conclusion est que toutes les deux recherchent la combinaison d'options de travaux sur plusieurs sections d'un réseau par l'optimisation d'une fonction objectif sous contrainte budgétaire.

Le troisième outil d'analyse utilisé dans les applications du HDM-4, l'Analyse de Projet, concerne les suivants aspects :

- L'évaluation d'un ou plusieurs projets ou options d'investissement routier;
- L'analyse d'une section ou liaison de route sur laquelle, des travaux choisis par l'utilisateur, avec leurs coûts et bénéfices associés, sont réalisés chaque année sur la période d'analyse imposée;
- Détermination des indicateurs économiques pour les différentes options d'investissement.

Aussi, l'analyse de projet peut être utilisée pour l'estimation de la viabilité économique ou technique des projets routiers vis-à-vis de :

- Le comportement structurel des chaussées routières;
- Les prédictions de dégradations des routes sur leurs durées de vie;
- Le calcul des coûts et avantages des usagers de la route.

Ce qui est à mentionner par rapport à cette analyse c'est que les relations de dégradation des routes ont été étendues et améliorées pour couvrir une gamme plus large de chaussées et le comportement des matériaux existant dans les pays avec climat froid et tempéré.

Une fois tous ces trois outils utilisés dans les applications du HDM-4 présentées, il serait bien de montrer un aspect majeur qui fait toute la différence dans leurs fonctionnements. Il s'agit du niveau de détail de définition des données. Pour mieux comprendre un exemple est présenté. Au niveau de l'analyse de stratégie ainsi qu'au niveau de l'analyse de programme, le niveau de détail de définition d'une donnée, soit l'UNI, pourrait être qualifiée comme bon, moyen ou mauvais, donc un niveau de détail plutôt générique. Par contre, dans l'analyse de projet, les données sont spécifiées en termes de défauts mesurés, soit pour le même UNI, la donnée sera spécifiée en valeur IRI (m/km.)

Cette analyse et comparaison des trois outils d'analyse étant réalisées, il faut présenter maintenant l'environnement à travers lequel ces analyses sont faites. Il s'agit des quatre gestionnaires de données, soit :

- Réseau routier qui définit les caractéristiques physiques des sections de route à l'intérieur d'un réseau ou d'un sous réseau;
- Parc des véhicules, qui définit les caractéristiques du parc des véhicules utilisés par les usagers du réseau ou du sous réseau en question;
- Travaux routiers, qui définissent les normes d'entretien et aussi d'aménagement qui peuvent être appliquées sur les différentes sections de l'analyse;
- La configuration HDM, qui définit les données à utiliser, ces données étant fournies soit par défaut lors de l'installation du logiciel, soit ajustée par l'utilisateur afin de refléter le mieux possible l'environnement local.

Avant d'entrer et présenter d'une manière plus détaillée les données, il faut juste rappeler les quatre ensembles de modèles auxquels l'analyse technique fait appel. Ces quatre modèles sont :

- La dégradation des routes (RD, Road Deterioration) qui prédit la dégradation des routes bitumineuse, en béton et non revêtues;
- Les effets des travaux (WE, Works Effects), qui simule les effets des travaux routiers sur l'état des chaussées et calcule les coûts correspondants;
- Les effets aux usagers de la route (RUE, Road User Effects), qui nous fournit les coûts d'exploitation des véhicules, des accidents et des temps de déplacement;
- Les effets sociaux et environnementaux (SEE, Social and Environment Effects), qui nous fait parvenir les effets des émissions des véhicules ainsi que la consommation d'énergie.

Pour revenir aux données des gestionnaires susmentionnés, il faudrait commencer par mentionner que HDM-4 est livré avec des données par défaut, mais que la configuration de HDM-4 donne la possibilité d'adapter le fonctionnement du système afin qu'il reproduise les caractéristiques usuelles de l'environnement où l'étude est réalisée. Cette possibilité d'adaptation est due à des fonctions prévues pour redéfinir les données fournies par défaut. En plus, pour être encore plus convivial, HDM-4 est muni des fonctions d'importation et d'exportation des données, en facilitant l'échange de bases de données.
Pour enchaîner avec un deuxième gestionnaire de données, i.e. les réseaux routiers, on mentionne que les entités reconnues par ce gestionnaire sont :

- Les sections, qui sont des longueurs de route sur lesquelles les caractéristiques physiques sont plus ou moins constantes;
- Les liaisons, qui représentent une ou plusieurs sections sur lesquelles, la circulation est presque constante;

- Les nœuds, qui sont considérés comme des intersections qui connectent des liaisons ou d'autres points dans lesquels, des différences significatives de trafic, caractéristiques de chaussée ou des limites administratives sont présentes.

En ce qui concerne les parcs de véhicules, ce gestionnaire permet le stockage des caractéristiques des véhicules exigées pour le calcul des vitesses, des coûts d'exploitation, des coûts de temps de déplacement ainsi que des coûts des d'autres effets liés aux véhicules.

Une fois arrivé à cette dernière étape de présentation de HDM-4, on peut maintenant s'attaquer au sujet des « Coûts aux usagers », sujet qui fait l'objet principal de cette recherche. L'approche de calcul des coûts aux usagers du HDM-4 est similaire aux celles utilisées dans la plupart des autres outils. La différence majeure réside principalement par la prise en considération des véhicules non motorisés dans le cas de HDM 4. D'autres différences moins importantes résident dans les modèles distincts pour le calcul :

- Des coûts d'opération des véhicules;
- Du coût du temps de déplacement;
- Du coût des accidents.

Il faut toutefois reconnaître que les paramètres des modèles de HERS et de HDM-4 sont souvent identiques dans les deux cas en ce qui concerne les coûts d'opération, du temps et d'accidents.

2.2 Coûts du temps de déplacement et coûts d'opération des véhicules

HDM-4 permet de tenir compte des véhicules motorisés et non motorisés, avantage qui peut être important sur une rue très piétonne. La classification des véhicules motorisés peut se faire totalement sur mesure selon celle en vigueur dans l'administration. Une classification par défaut est fournie et comprends :

Catégorie : motorisé ou non;

Classe : motocyclettes ;
Voitures ;
Utilitaires ;
Autobus.

Type : voitures petites, moyennes et grandes ;
Utilitaires légères de transport et SUV ;
Autobus petits, moyens et pour longue distance ;
Camions légers, moyens, poids lourds, articulés.

Les véhicules non motorisés, ils peuvent être aussi classifiés en fonction de classe :

- Vélo;
- Rickshaw;
- Charrette;
- Tracteur agricole.

Et type

- Rickshaw tiré ou poussé;
- Charrette à chevaux ou bœufs;
- Tracteur agricole petit ou grand.

Aussi, le système permet de modifier tous les paramètres qui caractérisent avec précision tous les données des véhicules les plus représentatifs de chaque classe.

Comme dans d'autres logiciels, la vitesse, le coût d'opération des véhicules et le coût du temps de déplacement, sont déterminés dans HDM-4 en fonction de plusieurs variables, à savoir :

- Le type du véhicule ;
- La géométrie de la route ;
- Le type de recouvrement en surface de la route ;
- La condition existante de la route ;
- Le trafic.

Toutes ces variables conduisent en fait premièrement au calcul des composantes des coûts d'opération des véhicules, ces composantes étant les suivantes :

- La consommation de carburant ;
- La consommation de lubrifiants ;
- La consommation de pneus ;
- La consommation de pièces d'échange ;
- Main d'œuvre ;
- Dépréciation ;
- Intérêt ;
- Heures d'équipage ;
- Profits.

En ce qui concerne le temps de déplacement, on trouve les deux mêmes composantes plus une troisième, celle du temps d'attente chargement déchargement des produits et marchandises:

- Pour travail ;
- Personnel ;
- Chargement – déchargement des marchandises.

2.3 Coûts des accidents

Pour finir avec le troisième et dernier élément de l'analyse des coûts aux usagers, c'est-à-dire, les coûts des accidents, il faut mentionner que le système HDM-4 utilise des tables de conversion (look up tables) afin de trouver des taux d'accidents routiers. Ce qui est intéressant c'est que ces tables peuvent être définies par l'utilisateur même, les valeurs par défaut n'étant pas une option unique.

Toutes ces données proviennent des combinaisons de caractéristiques de route et de trafic comme le type de la route, le niveau du trafic, présence de véhicules non motorisés et géométrie de la route.

Toute cette approche à travers et à l'aide des tableaux de conversion a été suggérée à la suite de la réalisation des études de sécurité routière, de modélisation et des méthodes d'analyse.

Finalement, la composition totale des coûts aux usagers ainsi que leurs formules sont présentées ci-dessous :

- Coûts d'opération des véhicules motorisés ;
- Coûts du temps de déplacement des véhicules motorisés ;
- Coûts du temps de déplacement et d'opération des véhicules non motorisés ;
- Coûts des accidents.

2.4 Formules de calcul des coûts aux usagers

En ce qui concerne les coûts d'opération des véhicules motorisés, la formule de calcul des bénéfices entre deux options «m » et « n », l'option « n » étant celle de base pour une même section « s » est présentée ci-dessous :

$$\Delta VCN_{(m-n)} = [\ \sum VCN_{ns} - \sum VCN_{ms}] \qquad (2.1)$$

$$VCN_{ns} = \sum TN_{nsk} * UC_{nsk} \qquad (2.2)$$

$$VCN_{ms} = \sum TN_{msk} * UC_{msk} \qquad (2.3)$$

où :

$\Delta VCN_{(m-n)}$ Ce sont les bénéfices résultant de l'exploitation des véhicules dans l'option « m » par rapport à l'option « n »

VCN_j Ce sont les coûts d'exploitation annuels des véhicules pour la section « s » dans l'option d'investissement « j »

TN_{jsk} Nombre des véhicules de type « k » par an dans les deux directions sur la section « s » dans l'option d'investissement « j »

UC_{jsk} Coût moyen annuel par véhicule - voyage type « k » dans la section « s » dans l'option d'investissement « j » (où j est soit n soit m)

De point de vue des coûts du temps de déplacement des véhicules motorisés, la formule des bénéfices, toujours entre les options « m » et « n » pour une même section « s » est la suivante :

$$\Delta TCN_{(m-n)} = [\ \sum TCN_{ns} - \sum TCN_{ms}] \quad (2.4)$$

$$TCN_{ns} = \sum TN_{nsk} * UT_{nsk} \quad (2.5)$$

$$TCN_{ms} = \sum TN_{msk} * UT_{msk} \quad (2.6)$$

où :

$\Delta TCN_{(m-n)}$ Ce sont les bénéfices résultant temps de voyage dans l'option « m » par rapport à l'option « n »

TCN_{js} Ce sont les coûts du temps de voyage annuels des véhicules pour la section « s » dans l'option d'investissement « j »

UT_{jsk} Coût moyen du temps de voyage annuel par véhicule - voyage type « k » dans la section « s » dans l'option d'investissement « j » (où j est soit n soit m)

TN_{jsk} Nombre des véhicules de type « k » par an dans les deux directions sur la section « s » dans l'option d'investissement « j »

En ce qui concerne le troisième élément des coûts aux usagers dans la vision de HDM-4,c'est-à-dire, les coûts du temps de déplacement et d'opération des véhicules non motorisés, la formule de calcul, en gardant les mêmes considération des options « m » et « n » sur une même section « s », se présente de la manière suivante :

$$\Delta TOCN_{(m-n)} = [\ \sum TOCN_{ns} - \sum TOCN_{ms}] \quad (2.7)$$

$$TOCN_{ns} = \sum TN_{nsk} * UTOC_{nsk} \quad (2.8)$$

$$TOCN_{ms} = \sum TN_{msk} * UTOC_{msk} \quad (2.9)$$

où :

$\Delta TOCN_{(m-n)}$ Ce sont les bénéfices du TNM résultant du temps et d'opération dans l'option « m » par rapport à l'option « n »

$TOCN_j$ Ce sont les coûts d'exploitation et du temps TNM pour la section « s » dans l'option d'investissement « j »

TN_{jsk} Nombre des TNM de type « k » par an dans les deux directions sur la section « s » dans l'option d'investissement « j »

$UTOC_{jsk}$ Coût moyen annuel d'exploitation et du temps des TNM par véhicule - voyage type « k » dans la section « s » dans l'option d'investissement « j » (où j est soit n soit m)

Le quatrième et dernier élément des coûts aux usagers, c'est-à-dire les coûts des accidents, toujours en options « m » et « n » pour une section « s », est calculé en utilisant la formule suivante :

$$\Delta ACC_{(m-n)} = [AC_n - AC_m] \quad (2.10)$$

où :

$\Delta ACC_{(m-n)}$ Les bénéfices de la réduction d'accidents dans l'option d'investissement « m » par rapport à l'option « n »

AC_j Le coût total des accidents dans l'option « j » (où j est sois m sois n)

CHAPITRE 3

AUTOROUTE BONAVENTURE

3.1 Historique

L'autoroute Bonaventure se situe dans la partie sud de la ville de Montréal et relie le centre - ville au réseau métropolitain d'autoroutes (A15 et A20). En fait, la nécessité de créer cette autoroute a vu le jour lors de la construction du pont Champlain et de l'approche de l'Expo 67.

Ainsi, l'inauguration du Pont Champlain le 28 Juin 1962 a permis l'accès vers la rive sud de Montréal à partir de la rue Wellington. Deux ans plus tard, le 7 Décembre 1964, un autre accès au pont a été réalisé via le Boulevard De la Vérendrye.

Dans cet intervalle, conformément aux renseignements fournis directement du site Internet de la société, www.jccbi.ca (avril 2007), des discussions entre le Conseil des Ports Nationaux et la Ville de Montréal en ce qui concerne la réalisation d'une troisième voie d'approche au Pont ont été amorcées. À la fin de ces discussions, un compromis sur l'emplacement, les frais de construction et de gestion de cette autoroute a été trouvé et c'est de cette manière que la gestion actuelle de l'autoroute Bonaventure est partagée entre les deux entités susmentionnées. Il faut mentionner que la Ville de Montréal est responsable du tronçon Rue Notre Dame jusqu'au centre du canal Lachine et que la Société « Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée » (PJCCI) gère le tronçon Centre du Canal Lachine jusqu'au Pont.

Ce projet d'une troisième voie d'approche est devenu beaucoup plus important lors de la publication des plans de l'Expo 1967. Dans cette perspective, l'autoroute Bonaventure allait constituer la principale voie d'accès au site officiel de l'Exposition Universelle tout en offrant une entrée magistrale vers Montréal.

Vu l'importance accrue de cette autoroute, les travaux ont vite démarré le 6 Août 1965 pour se terminer le 21 Avril 1967, soit sept jours avant l'ouverture de l'Expo. Finalement, l'autoroute Bonaventure dans sa forme actuelle, compte sur 4.1 Km, ayant quatre voies sur une distance de 1 Km et six voies sur le reste, assurant un volume annuel de plus de 20 millions de véhicules. Cette autoroute a maintenant 40 ans et son avenir fait actuellement l'objet de plusieurs études de réaménagement. Elle est présentée à la figure 3.1.

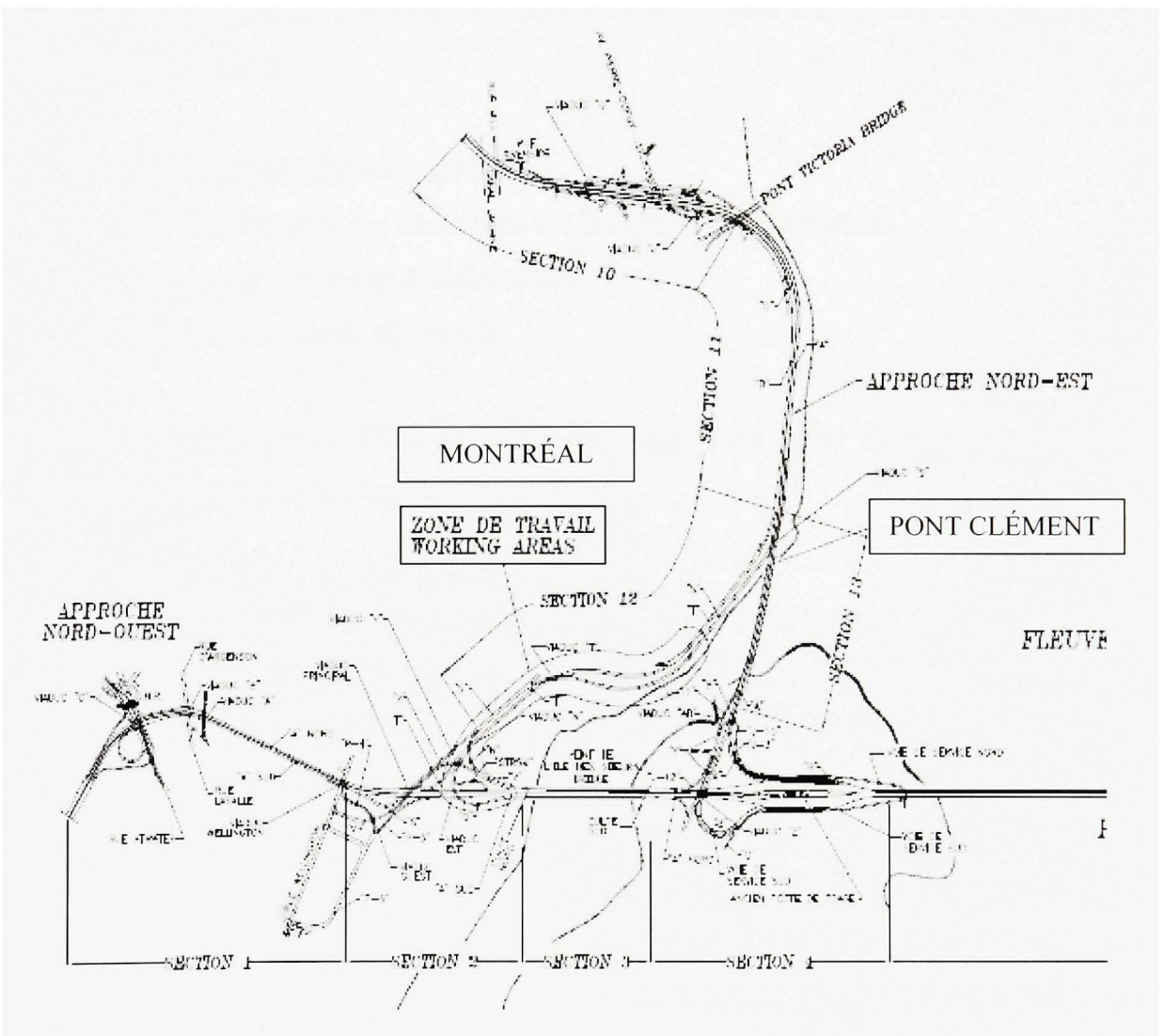


Figure: 3.1 ***Emplacement de l'autoroute Bonaventure***

Source : *Structure Teknika Inc 1996 Pont Champlain sect 2 et 12 réf des voies «T» et « O»*

3.2 Description de la situation actuelle

Conformément à une étude intitulée « Réfection ou réaménagement de l'autoroute Bonaventure » réalisée par le consortium Roche / Teknika en 2005, l'autoroute Bonaventure a été l'objet de deux réhabilitations importantes, en 1987-1988 et en 2001-2002. Évidemment, la Ville de Montréal prévoyait des coûts importants de réparations à venir, raison pour laquelle, elle a mandaté le même consortium pour réaliser des inspections et des auscultations afin de :

- Déterminer l'état des composantes;
- Identifier l'impact des dommages sur la capacité de la structure;
- Trouver les causes des détériorations;
- Évaluer les coûts de réparation.

Suite à ces inspections, l'état actuel de l'autoroute, du point de vue du revêtement bitumineux, se présente de la suivante manière :

- Fissuration sur toutes les surfaces de dalles;
- Affaissement sur certains endroits;
- Fissures non colmatées au moyen de bouche fissures;
- Dépassement de la durée normale depuis plusieurs années;
- Épaisseur d'enrobé variable de 55 à 120 mm.

L'information cruciale, qui provient de la même étude, est le débit de circulation, qui s'élève à près de 65 000 véhicules par jour, suite à une augmentation de 23% entre 1988 et 2003. Cette croissance n'influence toutefois pas directement les débits de pointe, mais présente une période de temps achalandée plus longue dans une journée typique. Finalement, les données les plus importantes sur les débits de circulation sont les suivantes :

- La direction de pointe représente 70 % du débit le matin et 77% du débit le soir;
- Le débit le plus élevé à prendre en considération est d'environ 4300 véhicules le matin en direction nord (environ 1550 en direction sud);
- En soirée, le débit le plus important est d'environ 5050 véhicules en direction sud (environ 1500 en direction nord);
- Dans les deux cas, matin ou soir, le tronçon le plus achalandé est situé à la hauteur de la rue « Wellington », y compris les bretelles de desserte;
- Les derniers comptages réalisés par la société « Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Inc. » (Septembre 2003) ont montré des valeurs d'environ 65 000 véhicules par jour dans les deux directions.

3.3 Données recueillies

De point de vue de la géométrie, les plus importantes informations sont fournies par les profils. En fait, les coupes transversales, le profil longitudinal et le tracé en plan sont capables de mettre en évidence ce qui est variable sur le plan horizontal et sur le plan vertical. Un troisième élément essentiel dans la réalisation d'un « portrait » de géométrie d'une route c'est le tracé en plan, celui-ci étant ni plus ni moins une projection horizontale, donc bidimensionnelle, de la totalité des points définissant le tracé tridimensionnel de la route. En ce qui concerne les paramètres à utiliser dans cette recherche, il faut mentionner que les paramètres retenus sont ceux qui sont exigés d'une manière explicite par le logiciel HDM-4 comme données d'entrée. Par conséquent, les paramètres complémentaires à utiliser dans l'analyse de point de vue géométrie sont :

- Le dénivelé (en mètres);
- La sinuosité (en degrés par kilomètre);
- Le type de drainage (en V ou non, revêtu ou non revêtu).

De point de vue de la définition, les mêmes profils susmentionnés, c'est-à-dire, celui en travers et celui longitudinal, constituent les plus importantes sources d'information pour le choix de paramètres à utiliser. Il faut ajouter aussi le fait que les profils dont on parle ne constituent pas la source exclusive des informations sur la définition d'une chaussée. Le reste des informations proviennent des démarches réalisées pour l'obtention de la situation réelle concernant le trafic. Ces démarches sont constituées par des activités visant le comptage de tous les véhicules qui empruntent la route, ou le tronçon de route en question. Pour ce qui est de la composition du trafic, une analyse détaillée est présentée dans le chapitre suivant afin de mieux comprendre le raisonnement du logiciel sur le choix des données à utiliser. Concrètement, la liste des paramètres nécessaires à faire rouler du point de vue définition, est montrée ci-dessous :

- La longueur (Km ou mètres);
- La largeur (en mètres);
- La largeur des accotements (en mètres);
- Le nombre de voies;
- Le trafic (DJMA);
- Le dévers (en %);
- Le nombre de dénivelées (par kilomètre).

De point de vue de la chaussée, plusieurs aspects sont pris en compte par les concepteurs du logiciel. Il s'agit principalement de la structure et son évolution dans le temps. Il est utile de rappeler que le logiciel est conçu d'une manière à prendre en compte l'historique de la route. Ainsi, la possibilité de mettre en valeur les données recueillies le long de l'existence de la route en question donne la possibilité aux utilisateurs du logiciel d'augmenter le niveau de précision des résultats obtenus. Cette possibilité est constituée par la saisie des données suivantes :

- L'épaisseur de la surface récente;
- L'épaisseur de la surface ancienne;

- L'année de la dernière reconstruction ou construction;
- L'année de la dernière réhabilitation (rechargement);
- L'année du dernier renouvellement de surface (imperméabilisation).

De point de vue de l'état existant, c'est ici que la fiabilité des données joue un rôle essentiel. Il faut mentionner dés le début que la démarche nécessaire pour l'obtention de ces données implique un programme d'auscultation qui, souvent, est soumis à plusieurs contraintes. Parmi ces contraintes il y a le degré de précision des données à obtenir, la qualité de l'équipement utilisé, le calage de l'équipement aux conditions locales, la différence de temps entre les différents procédés et aussi les budgets disponibles. Les contraintes budgétaires obligent souvent les gestionnaires des routes à faire des compromis sur le nombre d' acquisitions de données. Une chose qui aurait pu être très intéressante du point de vue de l'utilisateur du logiciel aurait été la possibilité d'introduire ces données en fonction du moment où elles ont réellement été prises. C'est-à-dire, une option « année de l'obtention du résultat» pour chaque paramètre, étant donné le fait que pas tous les paramètres exigés sont obtenus nécessairement dans la même année. Tous les paramètres énumérés ci-dessous, qui constituent la situation existante, n'ont pas été obtenus dans la même année, un détail pour chacun de ces paramètres étant présenté dans le chapitre 4 qui suit.

- L'UNI existant (IRI en m par kilomètre);
- La fissuration structurelle totale (en %);
- La superficie d'arrachements;
- Le nombre de nids de poule (par kilomètre);
- La profondeur moyenne d'ornières (en mm.);
- Le type de drainage (mauvais, moyen, bon, excellent).

CHAPITRE 4

DONNÉES ET HYPOTHÈSES UTILISÉES

4.1 Choix du tronçon étudié

La première chose à mentionner c'est que le choix de l'autoroute Bonaventure comme objet d'analyse est survenu comme une conséquence logique de la volonté d'étudier une section d'autoroute en milieu urbain à trafic élevé. Ensuite, plusieurs aspects ont été pris en considération dans le choix du tronçon le plus représentatif retenu pour être analysé. Premièrement, l'autoroute a été analysée dans son ensemble et puis par section. Le tronçon retenu devait avoir un caractère représentatif pour cette autoroute de point de vue de l'état actuel, de la géométrie, du trafic, etc. Ensuite, au niveau de la continuité, la section recherchée devait être assez longue mais pas composée par d'autres sous-sections difficiles à évaluer les unes des autres ainsi que dans leur ensemble.

De point de vue structural, le choix une section homogène s'est imposé, c'est-à-dire, une section qui ne soit pas liée aux bretelles d'entrée ou de sortie et qui ne change pas de structure, i.e. une section qui soit juste sur sol ou juste aérienne. Encore plus, le caractère homogène du type de chaussée, i.e. béton, mixte ou flexible, s'est imposé comme choix nécessaire. Un autre élément important dans le choix de la section retenue constitue le caractère représentatif du trafic, en d'autres mots, le choix doit refléter la partie la plus « centrale » de l'autoroute, par rapport aux différentes possibilités d'accès sur l'autoroute.

Un point relativement délicat dans le choix final a été imposé par une contrainte du logiciel HDM-4. Il faut mentionner que le logiciel ne possède pas l'option chaussée mixte pour la situation existante. En conséquence, la recherche s'est arrêtée en premier lieu sur les sections de chaussée flexible, les plus susceptibles à être étudiées. Malheureusement, la seule section trouvée, la section 10 présentée dans la figure 3.1, comporte plusieurs bretelles d'entrée et de sortie caractérisées par des éléments fondamentalement différents par rapport

à l'autoroute. Évidemment, cette section n'a pas été retenue pour le choix final d'analyse. Étant donné le fait que le revêtement de l'autoroute est un enrobé sur dalle de béton, situation qui n'existe pas dans les options offertes par HDM-4, hypothèse prise assume que la structure actuelle de la chaussée (dalle de béton plus deux couches d'asphalte) pourrait se positionner le plus proche possible de l'option enrobé sur base stabilisée, une des options offertes par le logiciel.

Finalement, la disponibilité des données à utiliser sur les différentes sections a constitué un autre critère de sélection.

Après l'étude de toutes les sections de l'autoroute, le choix final s'est arrêté sur la section 11 (voire figure 4.1.1), celle-ci étant située sur sol entre le viaduc « S » (le bout des sections 12 et 13) et l'extrémité sud de la section 10 (la partie aérienne). Cette section comporte trois voies dans la direction Nord (Montréal) et trois voies toujours dans la direction Sud (Brossard). La structure routière est composée de deux couches d'enrobé posées sur une dalle de béton qui repose à son tour sur une fondation granulaire.

En 2004, la Société « Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée » (LPJCCI) a mandaté la compagnie « Technisol Inc » de réaliser une étude pédologique relative à l'investigation des voies de la chaussée des sections 10, 11 et 13 de l'autoroute Bonaventure. Conformément aux sondages réalisés pour cette étude (Novembre 2004), dans la voie « B » de la section 11, l'épaisseur de la couche d'asphalte varie entre 60 et 100 mm, la moyenne des neuf forages réalisés sur cette section étant de 75,5 mm. La même étude dévoile que l'épaisseur de la dalle de béton varie de 180 mm à 430 mm, la valeur moyenne étant 227 mm.

Toujours en 2004, la même société a mandaté la compagnie Axor expert-conseil pour faire une auscultation dans les secteurs des ponts Jacques Cartier et Champlain. Cette auscultation a été réalisée en collaboration avec le Centre de Recherche et de Contrôle Appliqué à la Construction inc. (CRCAC). Le relevé complet de l'état de la chaussée a été

réalisé à l'aide d'un véhicule multifonction. Les résultats obtenus ont fait l'objet d'un rapport rédigé en 2005 et intitulé « Ponts Jacques Cartier et Champlain. Rapport sur l'état des chaussées ».

Conformément à ce rapport, le confort au roulement, représenté par l'IRI, a la valeur 4 mesuré en m/km pour la section 11. Dans les critères de performances de la Société « Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée » (LPJCCI) cette valeur de l'IRI correspond au qualificatif « mauvais » . En ce qui concerne l'orniérage, le même rapport fournit la valeur moyenne de 15 mm pour la même section.

4.2 Données retenues

Concernant les données retenues, il faut mentionner dès le début que le peu d'information actualisée sur l'état actuel de la route ainsi que certaines limites du logiciel, ont obligé la prise des hypothèses dans l'interprétation des valeurs retenues. D'ailleurs, l'hypothèse principale prise dans l'utilisation des données caractérisant la situation existante réside sur le fait que, volontairement, la fin de l'année 2006 a été considérée comme le moment d'obtention de toutes ces données. Ainsi, la configuration des données utilisées se présente de la suivante manière.

De point de vue de la définition, les données fournies par la compagnie qui gère les Ponts Champlain, Jacques Cartier et l'autoroute Bonaventure, se retrouvent dans les valeurs utilisées pour la longueur du tronçon, la largeur, le nombre de voies ainsi que sur le trafic. Pour ce qui est de la largeur des accotements et pour le dévers, les valeurs utilisées représentent des approximations faites lors des inspections visuelles sur site. À noter que toutes les valeurs supposées prises en compte dans le calcul sont subjectives, vu le danger réel de point de vue sécurité routière dans l'absence de camion flèche pour la protection du personnel travaillant sur les routes.

En ce qui concerne le trafic, les données proviennent des comptages réalisés en 2003 et qui ont été mises à la disposition de la compagnie qui gère l'autoroute Bonaventure. À noter

aussi que ces mesures ont été prises sur la section 10. Concrètement, les données retenues se retrouvent dans la liste ci-dessous :

- La longueur de la section : 1,06 Km;
- La largeur de section : 24,10 m;
- La largeur des accotements : 3 m;
- Le nombre des voies : 6;
- Le trafic (DJMA) dans les deux directions: 65 246 véhicules;
- Le dévers supposé (en %) : 3 %.

D'une manière plus visible, la fenêtre du logiciel concernant l'introduction de ces données est représentée à la figure 4.1 :

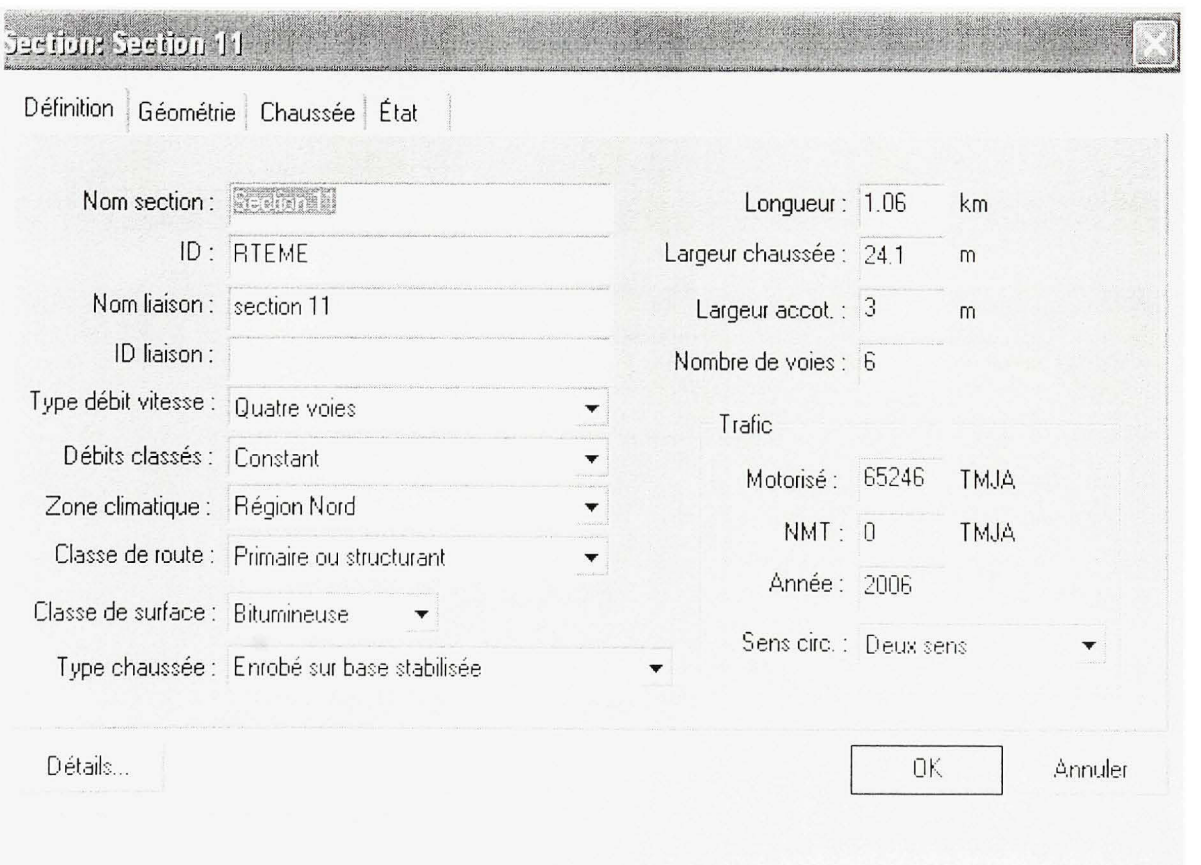


Figure 4.1 ***Données de définition***

Source : Logiciel HDM-4, Fenêtre d'introduction des données de définition

De point de vue de la géométrie, la plupart des éléments ont été estimés autant que peu à partir des informations remises. En fait, à part le type de drainage qui est de type « V » revêtu, toutes les autres données utilisées sont supposées. La liste des paramètres ainsi qu'une fenêtre du logiciel sont présentées ci-dessous dans la figure 4.2 :

- Pour le nombre de dénivelées (par kilomètre) l'hypothèse prise en l'absence des données a été 1;
- Dans l'absence des relevés topométriques, la dénivelée (en mètres) a été considéré non supérieure à un mètre, lors des plusieurs inspections visuelles de la section;
- En étudiant les cartes de l'autoroute, la valeur retenue pour la sinuosité (en degrés par kilomètre) a été fixée à 70;
- Toujours lors d'une inspection visuelle, le type de drainage retenu a été celui en « V » et revêtu.

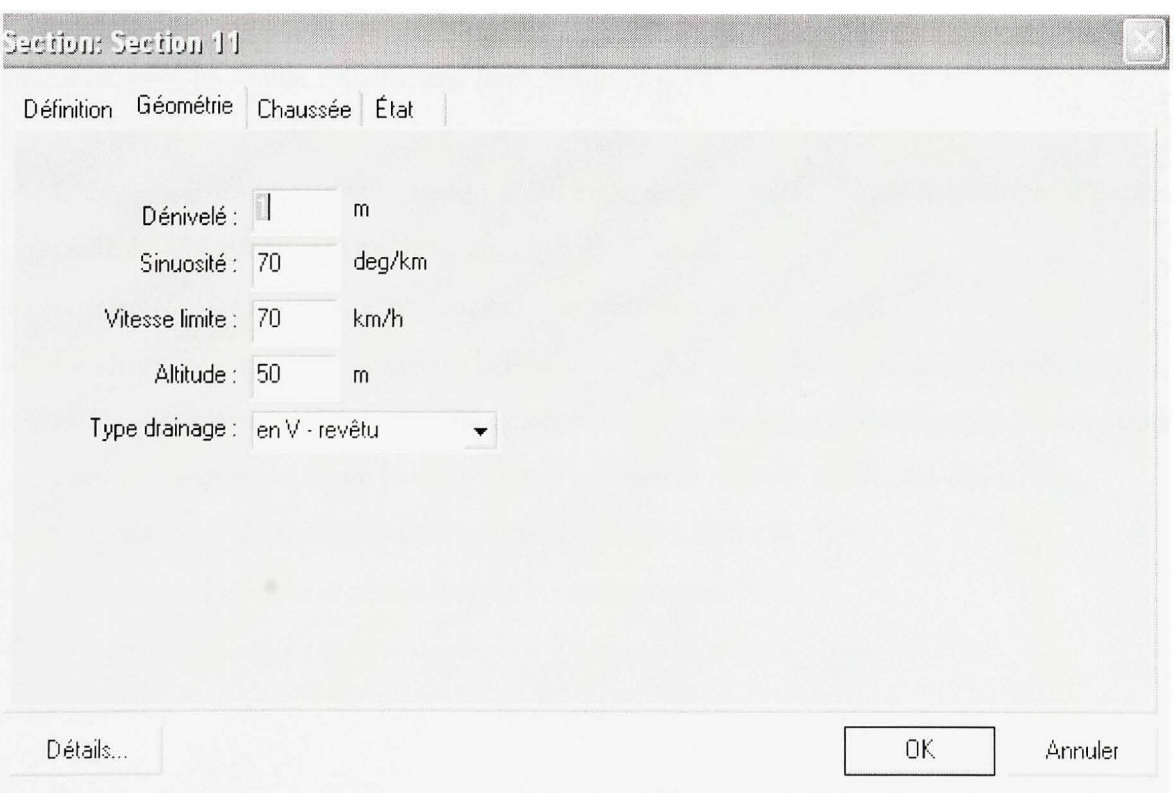


Figure 4.2 ***Données de géométrie***
Source : Logiciel HDM-4, Fenêtre d'introduction des données de géométrie

De point de vue de la chaussée, les seules données disponibles sont celles des épaisseurs des surfaces récentes, ancienne ainsi que celles de la base stabilisée. Les données proviennent des divers sondages réalisés qui ne distinguent toutefois pas les couches d'enrobé mais ne donnent que l'épaisseur totale. À mentionner que les sondages proviennent de l'étude « Investigation de la chaussée des sections 10, 11 et 13 voies « B », « D » et « J » » réalisée par « Technisol Inc » en novembre 2004. Aussi, l'épaisseur totale varie des couches d'enrobé varie de 70 à 120 mm. En ce qui concerne les années des interventions sur la route, exigées par le logiciel, l'autoroute a subi des interventions majeures dans les années 1987-1988 ainsi que 2001-2002 (« Réfection ou réaménagement de l'autoroute Bonaventure » Roche / Teknika 2005). Ces deux repères ont été utilisés dans le calcul. Pour ce qui est des dernières interventions d'entretien, soit imperméabilisation et traitement préventif, les données reflètent les politiques courantes de l'administration des Ponts Jacques Cartier Champlain Inc. Ainsi, la liste des valeurs retenues pour le côté chaussée, se présente de la manière suivante et elle est illustrée dans la figure 4.3:

- L'épaisseur de la surface récente a été estimée à 50 mm., l'épaisseur totale d'asphalte étant de 100 mm posés en deux couches de 50 mm;
- L'épaisseur de la surface ancienne (la première couche d'asphalte) 50 mm;
- Le choix du type de chaussée existante a été celui d'enrobé sur base stabilisée parce que HDM-4 n'offre pas la possibilité de choisir une chaussée mixte et la plus proche option pour le remplacement de la dalle de béton a été considérée cette base stabilisée;
- L'année de la dernière reconstruction ou construction 1987;
- L'année de la dernière réhabilitation (rechargement) 2001;
- L'année du dernier renouvellement de surface (imperméabilisation) 2003.

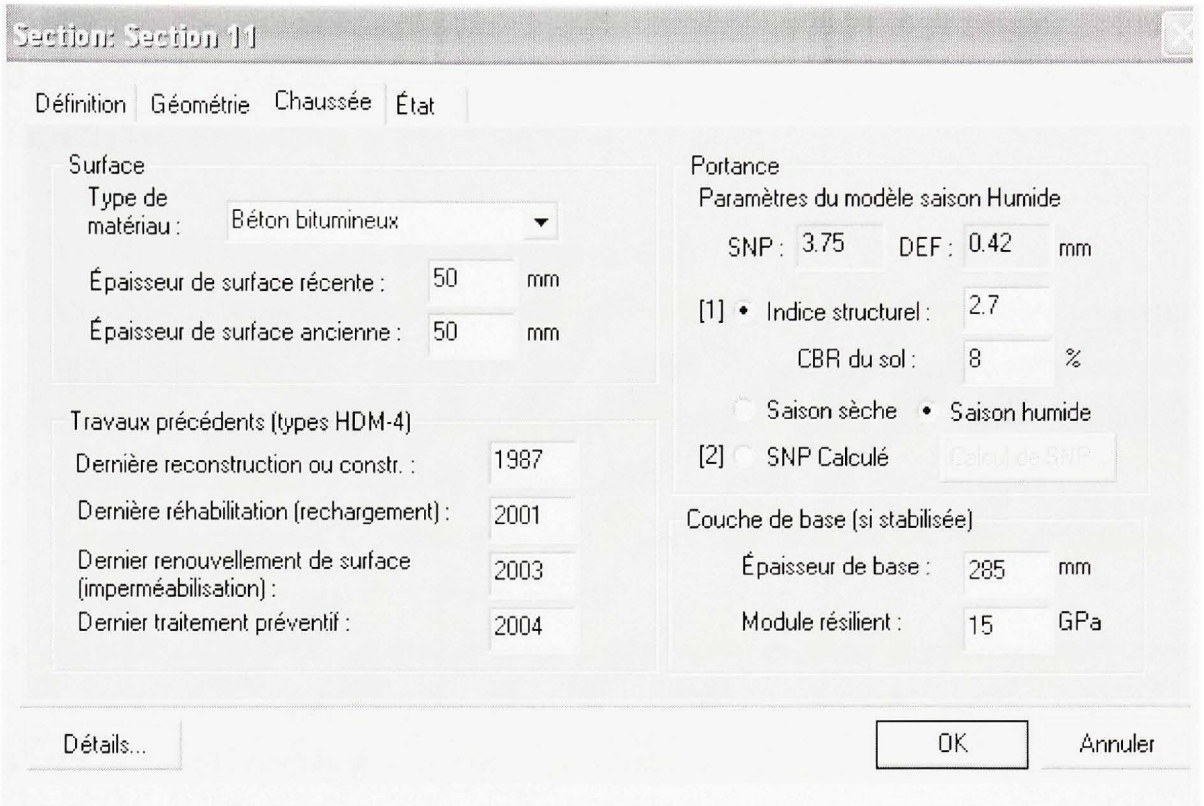


Figure 4.3 ***Données de chaussée***

Source : Logiciel HDM-4, Fenêtre d'introduction des données de chaussée

De point de vue de l'état de la chaussée, les seules informations confirmées par des mesures rationnelles sont celles de la valeur de l'IRI ainsi que celle concernant les ornières. Par contre, le relevé de l'IRI date de 2005 étant mentionné dans le rapport « Ponts Jacques Cartier et Champlain. Rapport sur l'état des chaussées » réalisé par la compagnie Axor en octobre 2005.

En fait, les plusieurs enregistrements sur l'IRI présents dans le rapport susmentionné varient de 2.75 jusqu'à 6.3, la valeur moyenne étant de 3.73, la valeur représentative pour toute la section étant 4. De point de vue ornières, les valeurs enregistrées lors du même rapport varient de 12 mm. à 15 mm. la valeur moyenne étant de 13 mm.

Pour le reste des valeurs retenues dans la définition de l'état existant de la route, l'absence des données a impliqué encore une fois la prise des hypothèses qui sont présentées dans la suivante énumération ainsi que dans la figure 4.4:

- L'UNI existant (IRI en mètres par kilomètre) : 4;
- De point de vue de la fissuration totale, un relevé visuel rapide en mouvement a permis la supposition qu'une de valeur de 15 % pourrait être une hypothèse pas trop loin de la réalité;
- En ce qui concerne la superficie d'arrachements la valeur prise en compte a été 0;
- Le nombre de nids de poule (par kilomètre) étant toujours une mesure difficile à prendre, la supposition s'est arrêtée au chiffre 5;
- La profondeur moyenne d'ornières (en mm.) c'est la moyenne des valeurs enregistrées sur les six voies, cette valeur étant 13;
- Le qualificatif pour type de drainage retenu est « bon ».

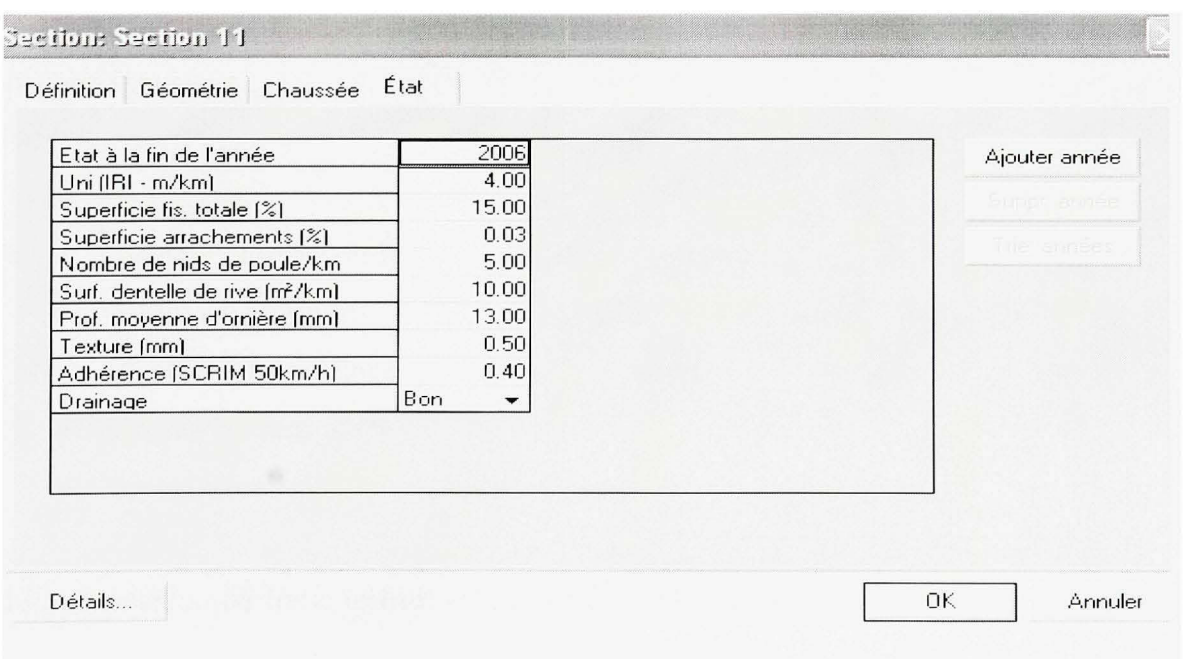


Figure 4.4 ***Données sur l'état existant***
Source Logiciel HDM-4, Fenêtre d'introduction des données de l'état existant

À part les données relatives à la chaussée, il faut mentionner d'autres aspects et hypothèses prises lors du lancement du logiciel et il s'agit de :

- Composition initiale et croissance du trafic;
- Coûts économiques et financiers des différents types de travaux par unités de mesure;
- Critères d'intervention et leurs limites;
- États après travaux.

De point de vue de la composition du trafic, HDM-4 étant un outil flexible pouvant être utilisé partout dans le monde, compte sur une structure assez générale. Par contre, l'option de modifier cette composition est présente. L'option par défaut semblait susceptible d'être utilisée avec des petites modifications, c'est pour cela que cette option a été finalement retenue. C'est sur, les véhicules inclus dans cette option se retrouvent souvent partout dans le monde, mais la composition en tant que telle du trafic varie assez profondément d'un continent à l'autre. Concrètement, les six types de véhicules motorisés utilisés par défaut dans HDM-4 sont :

- Bus Leyland;
- Camion lourd Mercedes;
- Camion 7.5 tonnes;
- Minibus Toyota Hiace;
- Pick-up Nissan;
- Toyota Corolla.

La composition du trafic utilisée a fait l'objet d'une « conversion » des types de véhicules fournis par les statistiques du Service de la Modélisation et des Systèmes de Transport (SMST) du MTQ, dans les véhicules de la base de données de HDM-4. À noter que ces statistiques délivrées (mai 2007) par la Direction du partenariat, de la modélisation et de la géomatique du SMST (Montréal), sont basées par les informations fournies par la Société

d'Assurance Automobile du Québec (SAAQ). Le tableau 4.1 est réalisé pour illustrer la conversion susmentionnée.

Tableau 4.1

Conversion de type des véhicules SAAQ – HDM-4

Véhicules SAAQ	**Véhicules HDM-4**
Camions et tracteurs routiers	Camion lourd Mercedes
Autobus Autobus scolaire	Bus Leyland
Camions légers	Camion 7.5 t.
Automobile et taxi	Minibus Toyota Hiace Pick-up Nissan Toyota Corolla

Pour les valeurs proprement dites de la composition du trafic, la part du "Automobiles et taxi" de la composition SAAQ a été divisée en trois parties égales allouées au trois types des véhicules correspondants. À mentionner aussi que l'évolution du même trafic à partir de 2007 provient toujours des statistiques de la SAAQ. Une autre chose à mentionner c'est que les données fournies par la SAAQ datent de l'année 2004 mais elles ont été utilisées comme pour l'année 2006. De même, les tendances de croissance du trafic ont été appliquées à partir de l'année 2007. Les tableaux sources pour l'acquisition de ces données du trafic ont été réalisés par la SAAQ et comptent sur :

- La répartition du nombre de véhicules en circulation selon le type de véhicule et le type d'utilisation ;
- La variation du nombre de véhicules en circulation.

En ce qui concerne le type du véhicule, la classification SAAQ se présente de la manière suivante :

- Automobile et camion léger ;
- Motocyclette ;
- Cyclomoteur ;
- Taxi ;
- Autobus ;
- Autobus scolaire ;
- Camions et tracteurs routiers ;
- Véhicule outil ;
- Motoneige ;
- Véhicule tout-terrain ;
- Autres.

De point de vue de l'utilisation des véhicules, les mêmes statistiques de la SAAQ fournissent la suivante classification :

- Promenade ;
- Utilisation institutionnelle, professionnelle ou commerciale ;
- Hors réseau.

Les données finales utilisées sont montrées dans la figure 4.5.

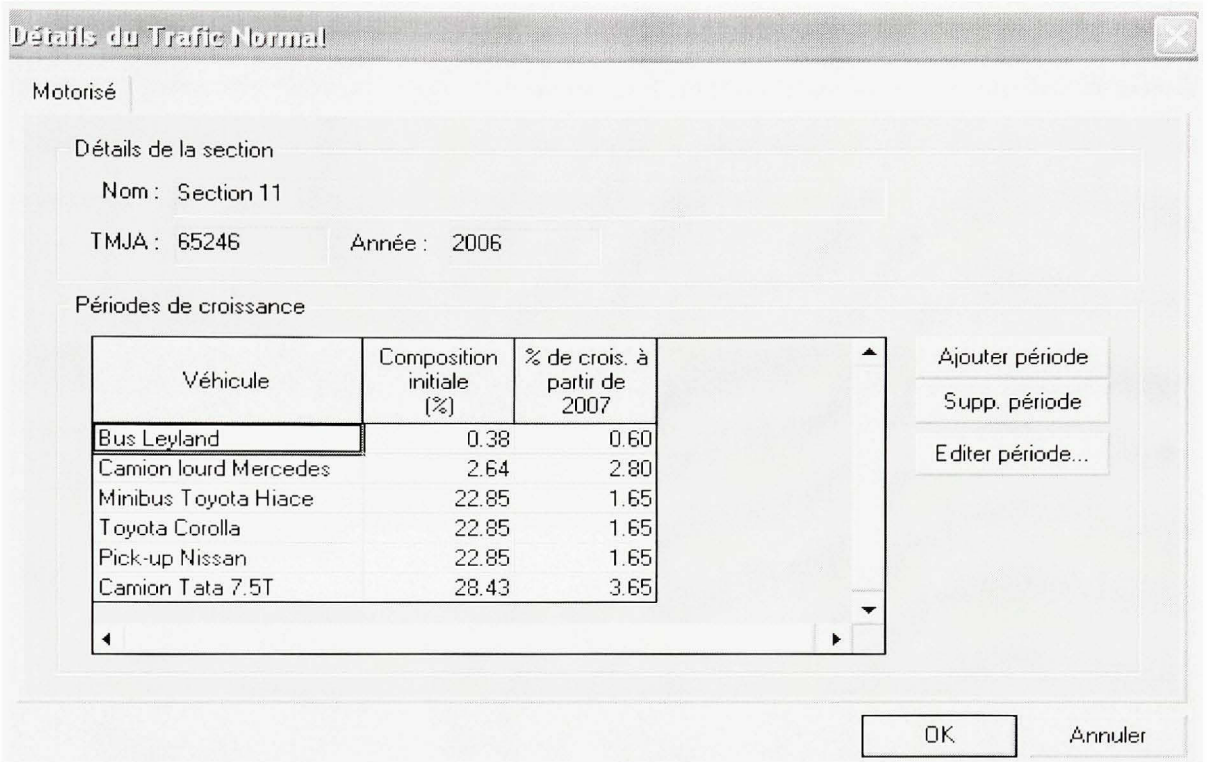


Figure 4.5 ***Détails du trafic***

Source : Logiciel HDM-4, Fenêtre d'introduction des données des détails du trafic

En ce qui concerne les coûts économiques et financiers des différents types de travaux, les valeurs utilisées lors des calculs sont celles qui sont par défaut dans le logiciel HDM.

Les critères d'intervention et leurs limites représentent des informations essentielles. Les critères sur lesquels la décision d'intervention est prise, sont fournis par défaut en HDM-4. Par contre, la possibilité d'en rajouter ou d'en modifier, demeure le choix de l'utilisateur. C'est d'ici que les différences sur les résultats des trois options proviennent. De façon pratique, le fait d'imposer l'attente d'une certaine valeur de l'IRI lors de la dégradation d'une chaussée pour que l'intervention puisse être réalisée, conduit à des résultats très intéressants qui ouvrent la porte à des possibilités d'interprétation encore plus intéressantes. Les limites de ces critères se traduisent par le choix de la période de temps sur laquelle

l'intervention peut être réalisée ou par une valeur maximale de l'IRI pour laquelle ça vaut encore la peine d'intervenir ou la périodicité de l'intervention ou encore par les limites du trafic à l'intérieur desquelles l'intervention peut être réalisée. La fenêtre du logiciel concernant ce critère d'intervention est présentée dans la figure 4.6.

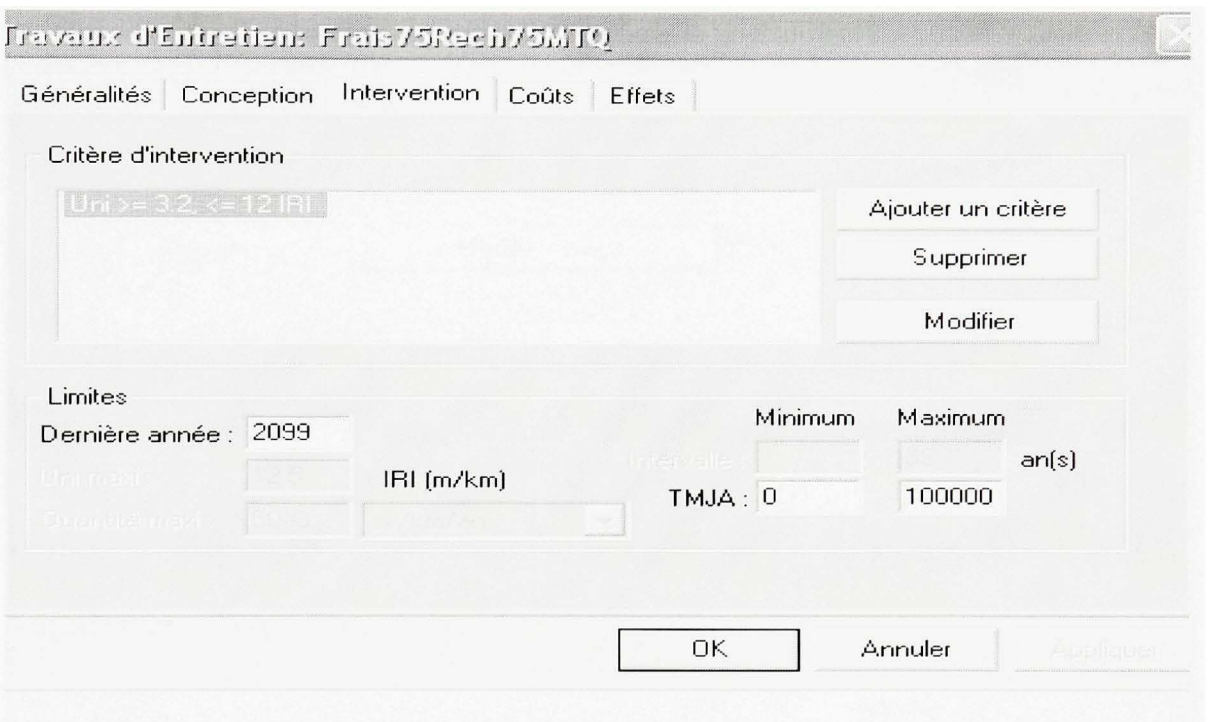


Figure 4.6 ***Critère d'intervention***

Source : Logiciel HDM-4, Fenêtre d'introduction des critères d'intervention

Concernant l'état de surface de la chaussée après travaux, HDM-4 offre deux options. Les deux options dépendent du choix de l'utilisateur. Ainsi, le logiciel offre la possibilité de calculer lui même les valeurs caractérisant l'état de chaussée après travaux ou la possibilité d'imposer certaines valeurs, seuils, par l'utilisateur. Les paramètres qui caractérisent l'état de chaussée dans la vision de HDM-4 portent sur la caractérisation de la section de route en fonction du niveau de l'IRI et de la profondeur moyenne d'ornières. Étant donné le fait que la qualité des travaux devrait refléter le niveau général des professionnels de la route de

notre province, un niveau de l'IRI de 1.5 ainsi que des ornières de 0 mm pourraient être un choix logique et surtout faisable. Par conséquent, l'option choisie a été celle réalisée par l'utilisateur en y imposant les valeurs susmentionnées. La fenêtre des options offertes sur l'état des chaussées après travaux est présente ci-dessous dans la figure 4.7.

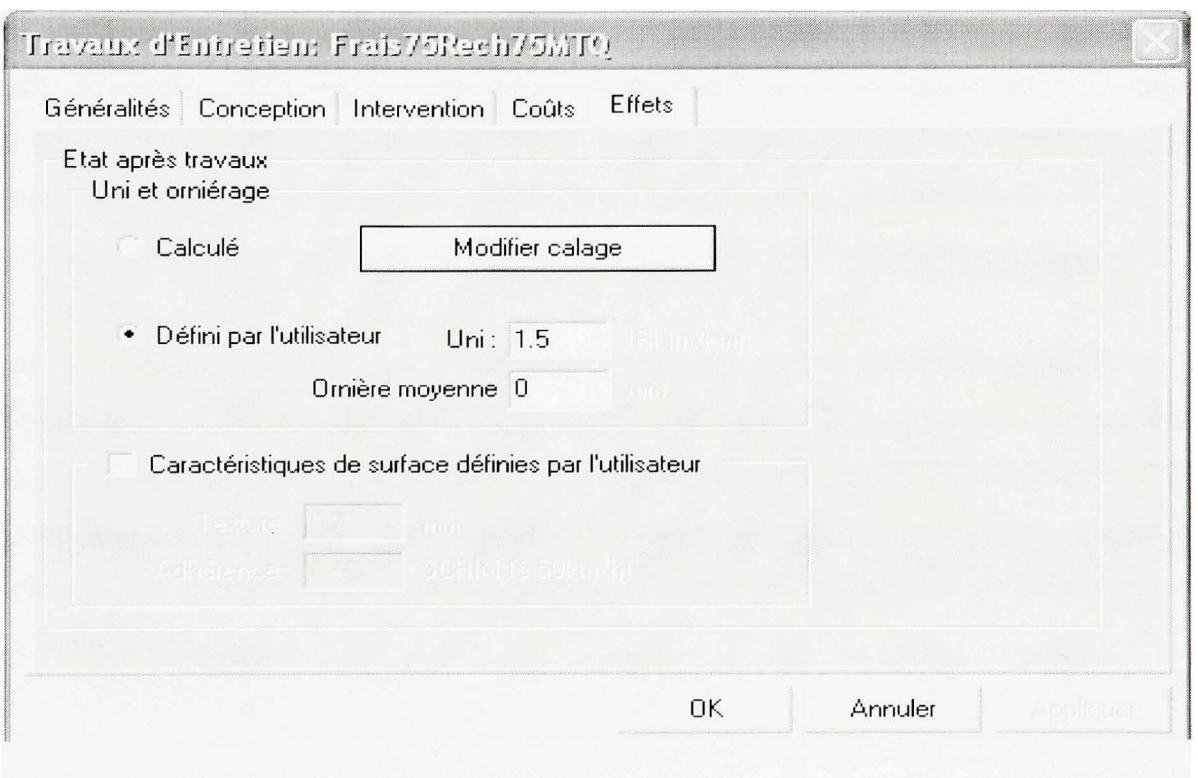


Figure 4.7 ***État après travaux***

Source : Logiciel HDM-4, Fenêtre d'introduction des données de l'état après travaux

4.3 Choix du type d'intervention

De point de vue intervention sur ce type de section, le logiciel HDM-4 donne la possibilité de choisir entre 28 variantes. Le bon état de la dalle en béton ainsi que les contraintes de niveau imposées par les structures aériennes se trouvant dans les deux bouts de cette section, constituent l'argument du choix de planage (fraisage) et pavage avec la même

épaisseur d'asphalte. Ce choix est encore validé par la grande majorité des travaux sur chaussées reposant sur dalle de béton qui sont constitués par des travaux de planage pleine profondeur des couches d'enrobé jusqu'à la dalle, sans y pénétrer. Concernant ce choix, un autre aspect a été pris en considération. Il s'agit du fait qu'une reconstruction complète dans la version HDM-4 ne serait pas compatible de point de vue économique avec la réalité locale montréalaise. Il est évident qu'excaver une dalle de béton est vraiment plus chère que le fait d'excaver soit une fondation stabilisée soit une fondation non stabilisée. En plus, le prix de matériau de remblai comporte des particularités qui s'expliquent par l'obligation d'utiliser des matériaux de carrières. Ainsi, dans la province de Québec, vu les exigences environnementales, les matériaux utilisés dans l'infrastructure proviennent des carrières et non pas des exploitations des cours des rivières, le prix final étant évidemment plus élevé.

Un autre élément apporté pour soutenir le choix retenu sur le type d'intervention est le facteur temps. Les coûts engendrés par la sécurité des travaux, la signalisation et le maintien du trafic représentent une portion non négligeable des interventions sur les autoroutes. C'est aussi pour cela que ce type d'intervention, des travaux qui peuvent être exécutés rapidement avec un taux d'efficacité élevé et surtout avec un impact des plus réduits sur les usagers de la route, a été retenu.

Toutefois, une question doit être posée vis-à-vis de ce type d'intervention. Elle est liée à la profondeur de planage et de pavage, vue la variation de l'épaisseur de la couche totale d'asphalte de 60 à 100 mm. La valeur moyenne pour ces couches d'asphalte a été calculée à 75 mm. lors des sondages réalisés. C'est pour cela que l'hypothèse de la profondeur d'intervention fixée à 75 mm a été prise comme illustré dans la figure 4.8.

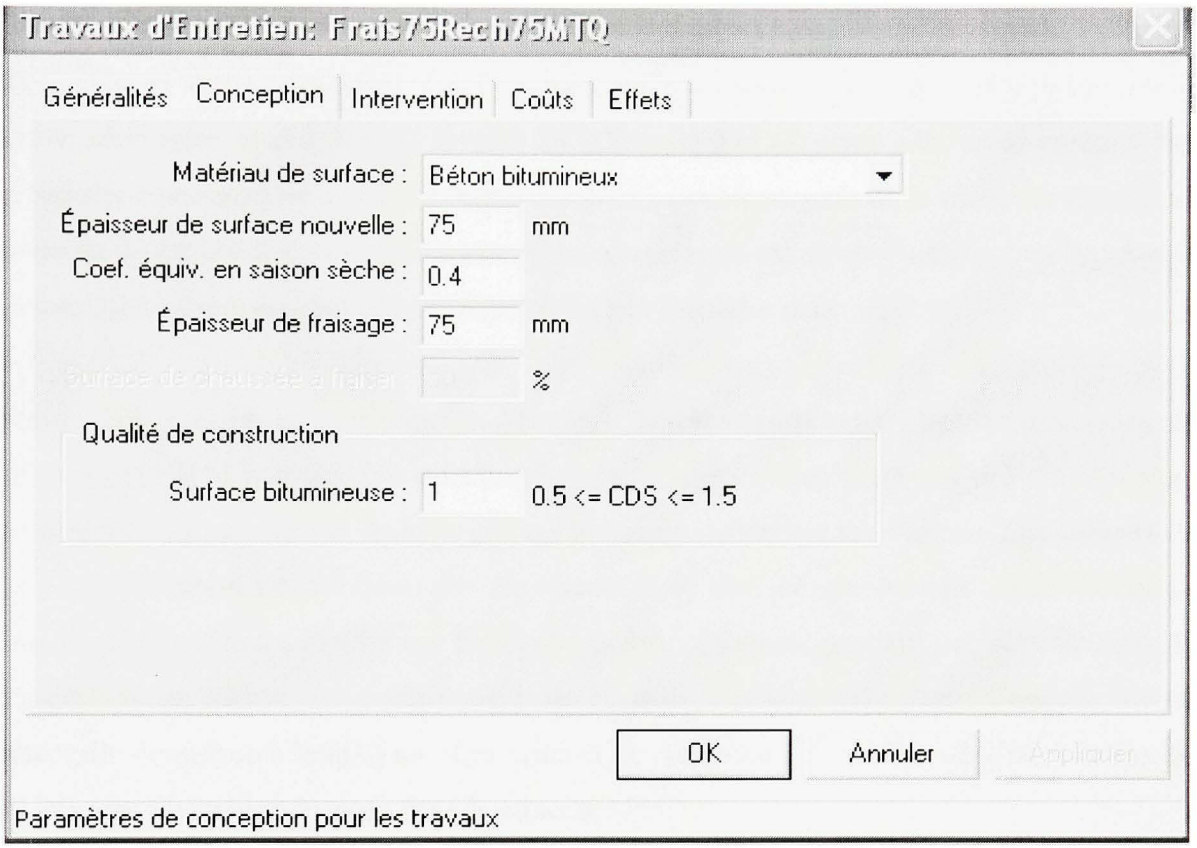


Figure 4.8 ***Paramètres de conception des travaux***

Source : Logiciel HDM-4, Fenêtre d'introduction des données de conception des travaux

Après avoir conclu sur le type d'intervention, le calcul des économies aux coûts aux usagers lors des travaux s'en suit avec les résultats obtenues. Étant donné que HDM-4 est un fort outil d'analyse et de gestion, son utilisation peut donner non seulement des résultats, mais aussi des comparaisons. Comme il a été déjà mentionné dans le sous chapitre précédent, les comparaisons visent les résultats suite à l'application des différents critères de performance en ce qui concerne la classification des routes en fonction de l'UNI. Il s'agit des critères utilisés par la Ville de Montréal, par la Société « Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée » (les deux co-gestionnaires de l'autoroute) et par le Ministère des Transports du Québec (MTQ) pour caractériser l'état des chaussées en fonction de l'UNI.

Ensuite, l'utilisation d'une section avec le même type des travaux a été envisagée, l'élément de différence étant le moment d'intervention. Il faut souligner que par cette approche, la stratégie de prise de décision sur le moment d'intervention n'est pas mise en question, le but recherché étant celui de montrer l'impact financier sur les usagers de la route par rapport au moment du déclenchement des travaux. Concrètement, le moment d'intervention représente le seuil de l'UNI correspondant au début de la classification mauvais état.

Mais avant tout, il faut présenter les critères de caractérisation d'état des chaussées en fonction de l'UNI existant. Les trois institutions ont des critères différents et c'est justement cette différence qui permet de bâtir une comparaison pertinente sur l'impact aux usagers de la part des moments différents de commencement des mêmes travaux ayant la même finalité. La finalité est d'offrir une bonne surface de roulement pendant une période donnée. La période de quinze ans a été considérée réaliste pour essayer de voir l'impact sur un intervalle de moyen à long terme. Les critères de classification de chaussées en fonction de l'UNI sont illustrés ci-dessous dans le tableau 4.2:

Tableau 4.2

Classification de chaussées en fonction de l'IRI

IRI	Ville de Montréal	PJCCI	MTQ
1	Très bonne	Très bonne si IRI <=1.5 Bonne si IRI >1.5	Excellent si IRI < 1.2 Bon si IRI > 1.2
2		Bonne si IRI <= 2.66 Passable si IRI >2.66	Bon si IRI < 2.2 Médiocre si IRI > 2.2
IRI	Ville de Montréal	PJCCI	MTQ
3	Bonne	Passable IRI <=3.83 Mauvais IRI >3.83	Médiocre si IRI < 3.2 Pauvre si IRI > 3.2
4	Moyenne	Mauvais IRI < 4.99	Pauvre si IRI < 4.2 Très pauvre si IRI > 4.2
5			
6	Passable		
7			
8	Mauvaise		
9			
10	Très mauvaise		

Source : Guy Bergeron 2005, « Études de réfection de chaussées »

Axor 2005, « Ponts Jacques Cartier et Champlain. Rapport sur l'état des chaussées »

En regardant ce tableau, les valeurs de l'IRI à partir desquels le mauvais (ou pauvre) état des routes s'installe sont :

- 3.2 pour MTQ
- 3.83 pour PJCCI
- 8 pour la Ville de Montréal

En analysant le tableau 4.2, la première chose à remarquer vise les similitudes de vision concernant l'évaluation des chaussées en fonction de l'UNI, entre les spécialistes du MTQ et ceux de la PJCCI. Presque la même plage des valeurs caractérisant le même type de surface est retrouvée. Ce n'est pas la même vision des choses concernant les spécialistes de la Ville de Montréal, mais il ne faut pas négliger le fait que la classification de la Ville de Montréal n'est pas spécifiquement liée aux autoroutes. Par conséquent, l'hypothèse de la réduction, de 8 à 5, de la valeur correspondante au critère de la Ville de Montréal, devrait être tout à fait légitime pour qu'une comparaison pertinente puisse être réalisée, surtout parce qu'il s'agit d'une autoroute et non pas d'une rue ou encore une petite rue à sens unique résidentielle à faible trafic. En plus le fait de se fixer comme valeur maximale théorique 5 correspond à la limite « négative » d'évaluation du critère le plus équilibré (celui de PJCCI).

CHAPITRE 5

CALCUL DES OPTIONS ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

5.1 Présentation des options d'intervention

Ce chapitre présente les trois options d'interventions simulées, décrit les résultats obtenus et en fournit une interprétation. Comme mentionné au chapitre 4, les trois options simulées, en sus de l'option de base qui consiste dans des travaux de routine, i.e. réparation et traitement des fissures, vont faire ressortir l'impact crée par le moment du déclenchement des travaux. Ainsi, l'option 2 consiste en des travaux de planage et pavage de 75 mm plus l'entretien de routine, travaux déclenchés au moment où la dégradation de la surface ait atteint la valeur 5. L'option 3 reprend le calcul en partant du moment où la dégradation de la surface ait atteint la valeur 3.2.
Finalement, l'option 4 consiste dans les mêmes travaux déclenchés cette fois-ci au moment où la dégradation de la surface ait atteint la valeur 3.83.

Les options étant définies, la seconde étape consiste maintenant à l'établissement des types des résultats désirés. Il faut savoir que HDM-4 offre toute une gamme d'analyses et de rapports, mais par rapport au but de la recherche, les quatre suivantes analyses ont été retenues :

- L'évolution annuelle de l'IRI;
- Les coûts annuels administration et usagers;
- La synthèse des indicateurs économiques;
- Les coûts à l'usager par véhicule.

5.2 Présentation des résultats

En ce qui concerne l'évolution annuelle de l'IRI, la dégradation rapide de point de vue UNI de l'option de base (en rouge) est la première chose à remarquer. C'est normal, avec seulement un entretien de routine, la chaussée ne peut que se dégrader. Pour les trois autres options, il y a le même type d'évolution, c'est-à-dire, dégradation jusqu'à la limite de l'IRI imposée, suivie d'une amélioration. L'amélioration commence toujours avec une valeur de 1,5 de l'IRI, valeur imposée après la réalisation des travaux. À noter que l'option 3 offre le meilleur UNI pour toute la période, suivie de l'option 4. L'option 2 reste la moins intéressante de ce point de vue. Afin de mieux visualiser cette évolution, un diagramme est présenté dans la figure 5.1.

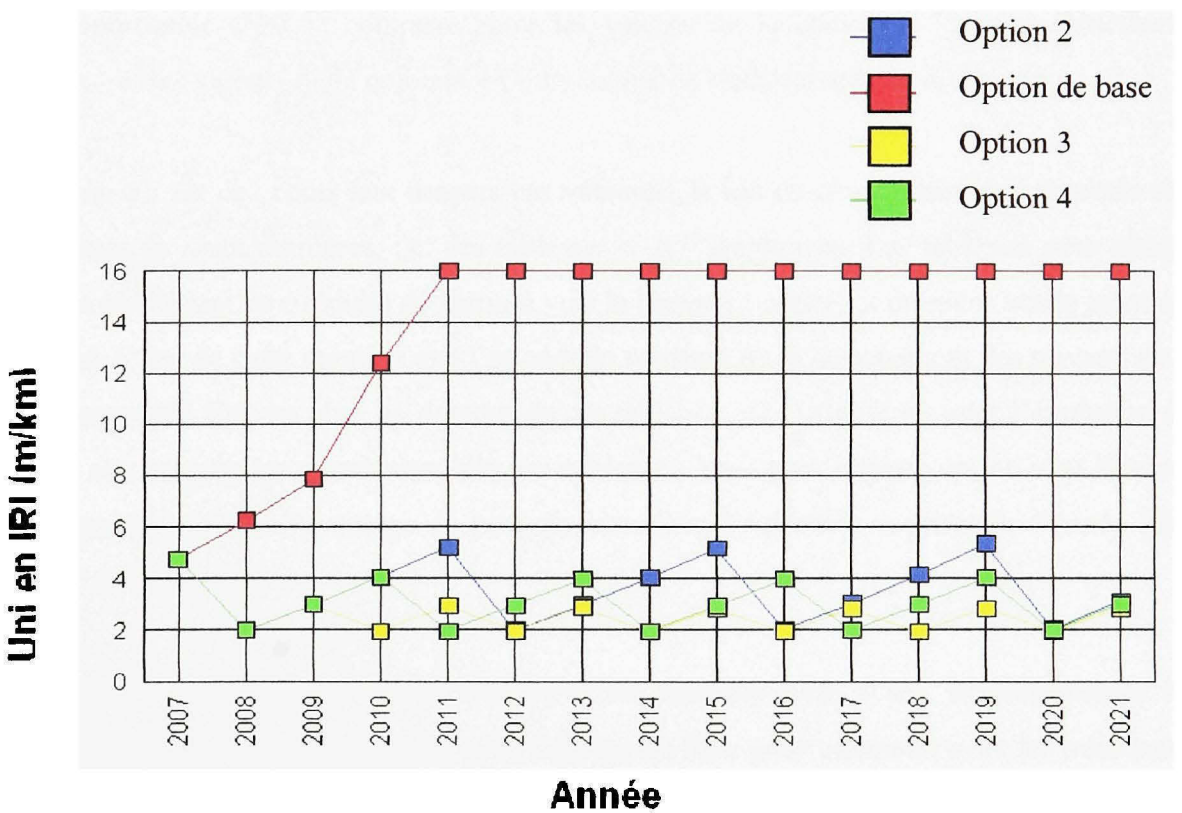


Figure: 5.1 ***Évolution annuelle de l'IRI***

Source : HDM-4 Rapports Dégradations / Travaux – Uni par section

De point de vue des coûts annuels administration et usagers, les plus importants coûts d'administration ainsi que les plus grandes économies des coûts aux usagers se retrouvent dans l'option 3. Ce qui est à remarquer c'est le grand écart dans les coûts d'administration de cette option par rapport aux autres et un minime écart dans les économies des coûts aux usagers de cette même option et les autres. En d'autres mots la solution la plus chère pour l'administration favorise les plus grandes économies aux usagers. À l'autre extrémité, l'option 2 présente le moins des coûts pour l'administration ainsi que le moins de réduction pour les usagers. La comparaison de ces coûts par option est illustrée dans les annexes I, II, III et IV.

En ce qui concerne les résultats de la synthèse des indicateurs économiques, c'est la meilleure possibilité de voir ce qui est le mieux et ce qui est le pire. Ce qui est vraiment disproportionné c'est le contraste entre les valeurs de la colonne « Rapport Bénéfices / Coûts » et les valeurs de la colonne « Coûts totaux de l'administration actualisés ».

Pour ce qui est des coûts aux usagers par véhicule, le but de ce mémoire, les résultats sont présentés de deux manières, i.e. des tableaux et des graphiques. Les tableaux pour chaque option pourraient être réduits de façon à voir la première année, la dernière année ainsi que le total. C'est de cette manière que l'impact du moment de déclenchement des travaux est le plus suggestif. Encore plus, en dessous de ces tableaux, des graphiques avec l'évolution des coûts aux usagers (moyenne annuelle par véhicule - km.) pour chaque option sont illustrés. Ces graphiques ont l'avantage de pouvoir visualiser l'évolution à partir de l'année 2007 jusqu'à l'année 2021.

Pour que les différences soient visibles d'une manière plus facile, la présentation des résultats est présentée en débutant avec l'option de base pour continuer avec les trois autres options, soit l'option 2, l'option 3 et l'option 4. Ces résultats sont illustrés dans les tableaux 5.1, 5.2, 5.3 respectivement 5.4 ainsi que dans les figures 5.2, 5.3, 5.4 respectivement 5.5.

Option de base

Tableau 5.1

Coûts aux usagers par véhicule dans l'option de base ($ / véh. – km.)

Année	Bus Leyland	Camion lourd	Camion 7.5 t.	Minibus Toyota	Pick-up Nissan	Toyota Corolla	TOTAL
2007	0.80	0.97	0.46	0.33	0.25	0.17	2.98
2021	1.24	1.4	0.63	0.51	0.36	0.22	4.37
TOTAL	17.23	19.71	9.00	7.09	5.05	3.21	61.29

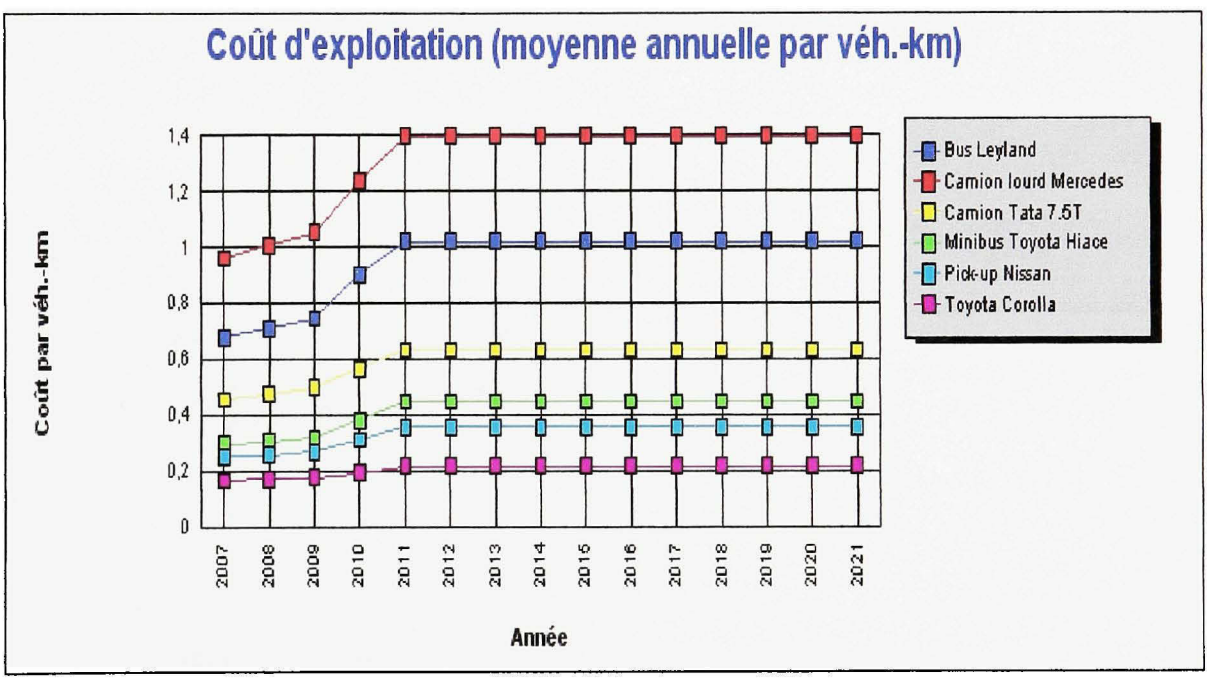


Figure 5.2 ***Coûts d'exploitation (moyenne annuelle par véh. – km.)***

Source : HDM-4 Rapports Effets sur les usagers – Coûts à l'usager par véhicule

Dans ces deux figures décrivant la situation de l'option de base, le plus important élément est la dégradation rapide des coûts aux usagers par véhicule – km. après seulement cinq ans, période qui est suivie d'une étape palier qui dure jusqu'à la fin de la simulation.

Option 2

Tableau 5.2

Coûts aux usagers par véhicule dans l'option 2 ($ / véh. – km.)

Année	Bus Leyland	Camion lourd	Camion 7.5 t.	Minibus Toyota	Pick-up Nissan	Toyota Corolla	TOTAL
2007	0.80	0.97	0.46	0.33	0.25	0.17	2.98
2021	0.75	0.91	0.43	0.32	0.25	0.17	2.83
TOTAL	11.56	13.97	6.65	4.92	3.74	2.54	43.37

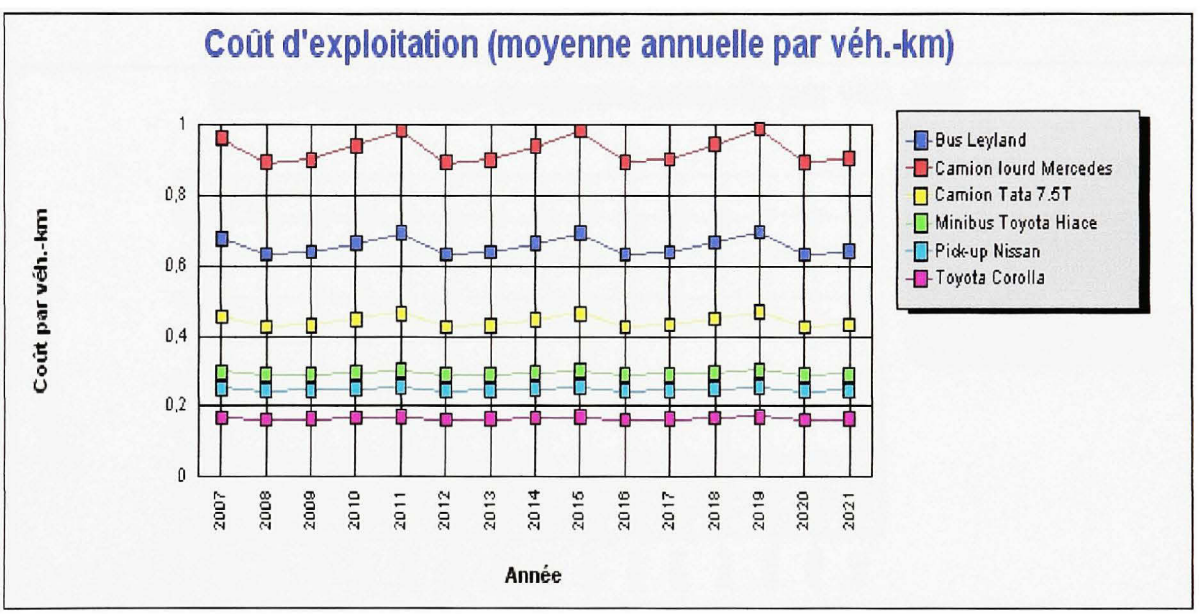


Figure 5.3 ***Coûts d'exploitation (moyenne annuelle par véh. – km.)***

Source : HDM-4 Rapports Effets sur les usagers – Coûts à l'usager par véhicule

En ce qui concerne l'option 2, ce sont les hauts et les bas dans l'évolution des coûts qui sont à remarquer, les bas représentant les années où les interventions sont réalisées. Une autre chose à retenir c'est que les coûts de l'année 2021 sont généralement plus petits que les coûts de l'année 2007.

Option 3

Tableau 5.3

Coûts aux usagers par véhicule dans l'option 3 ($ / véh. – km.)

Année	Bus Leyland	Camion lourd	Camion 7.5 t.	Minibus Toyota	Pick-up Nissan	Toyota Corolla	TOTAL
2007	0.80	0.97	0.46	0.33	0.25	0.17	2.98
2021	0.75	0.90	0.43	0.32	0.25	0.17	2.82
TOTAL	11.28	13.56	6.47	4.86	3.7	2.5	42.37

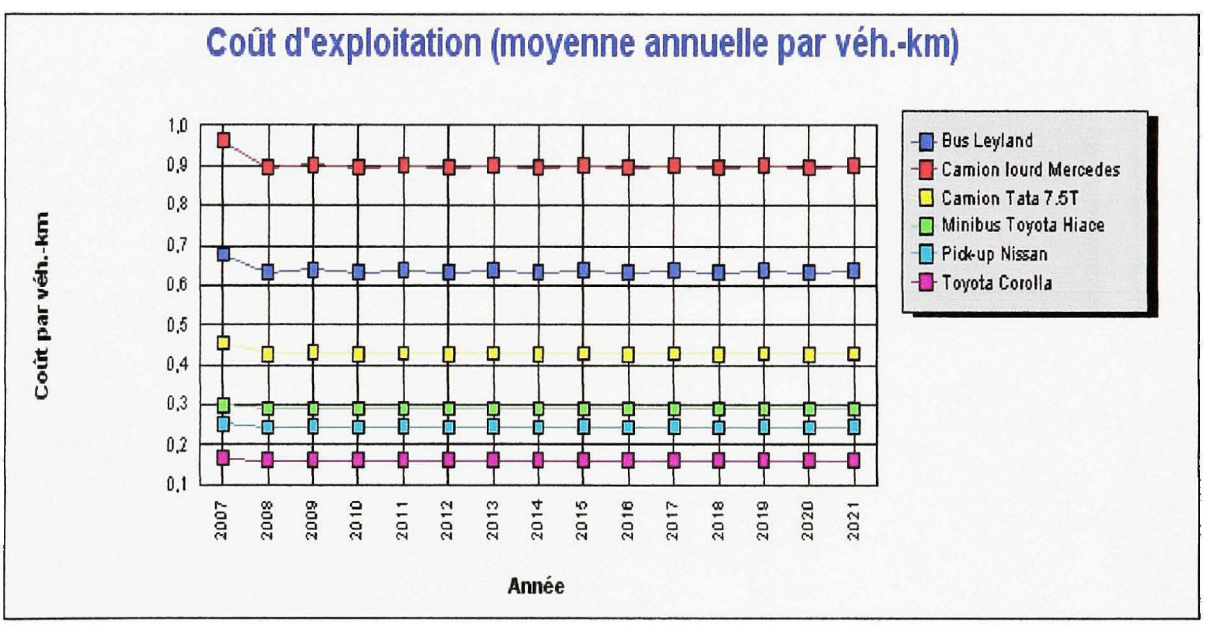


Figure 5.4 ***Coûts d'exploitation (moyenne annuelle par véh. – km.)***

Source : HDM-4 Rapports Effets sur les usagers – Coûts à l'usager par véhicule

Dans cette troisième option, la même évolution des hauts et des bas est présente mais avec une amplitude plus réduite des différences d'une année à l'autre. Pareil comme dans l'option précédente, les valeurs 2021 sont inférieures aux 2007.

Option 4

Tableau 5.4

Coûts aux usagers par véhicule dans l'option 4 ($ / véh. – km.)

Année	Bus Leyland	Camion lourd	Camion 7.5 t.	Minibus Toyota	Pick-up Nissan	Toyota Corolla	TOTAL
2007	0.80	0.97	0.46	0.33	0.25	0.17	2.98
2021	0.75	0.90	0.43	0.32	0.25	0.17	2.83
TOTAL	11.40	13.74	6.55	4.88	3.72	2.52	42.80

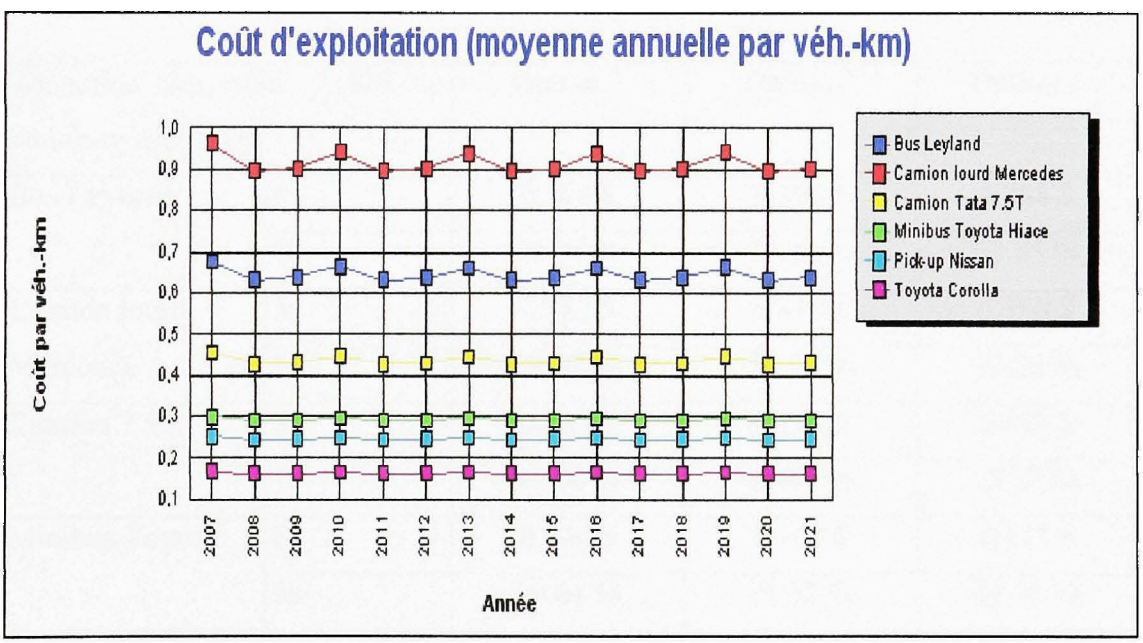


Figure 5.5 ***Coûts d'exploitation (moyenne annuelle par véh. – km.)***

Source : HDM-4 Rapports Effets sur les usagers – Coûts à l'usager par véhicule

Pour cette dernière option, la quatrième, le même type d'évolution est retrouvé, la seule chose marquante serait l'amplitude moyenne des différences annuelles, qui se situent entre l'option 2 et l'option 3.

5.3 Interprétation des résultats

Les résultats présentés dans le sous-chapitre précédent sont intéressants et par conséquent, plusieurs interprétations sont possibles. Une première interprétation consiste dans la réalisation d'une comparaison des réductions monétaires et des pourcentages par type de véhicule dans les quatre options, y compris l'option de base. Le tableau 5.5 présenté ci-dessous est réalisé dans cet esprit.

Tableau 5.5

Comparaison des réductions des coûts / véh. – km.

Réduction des coûts / véhicule km. (moyenne / an)		Option 2	Option 3	Option 4
Bus Leyland	$	0.378 $	0.396 $	0.388 $
	%	32.92 %	34.49 %	33.85 %
Camion lourd Mercedes	$	0.382 $	0.410 $	0.398 $
	%	29.07 %	31.20 %	30.29 %
Camion 7.5 t.	$	0.156 $	0.168 $	0.163 $
	%	26.00 %	28.11 %	27.22 %
Minibus Toyota	$	0.144 $	0.149 $	0.147 $
	%	30.64 %	31.63 %	31.34 %
Pick-up Nissan	$	0.080 $	0.090 $	0.088 $
	%	25.98 %	26.78 %	26.38 %
Toyota Corolla	$	0.045 $	0.047 $	0.046 $
	%	21.03 %	22.12 %	21.49 %
Moyenne de réduction par option (%)		27.6 %	29.05 %	28.42 %

La chose la plus importante à souligner lors de cette première interprétation des résultats est que l'option 3 est la meilleure option pour les usagers. La valeur moyenne de 29.05 % de réduction des coûts de l'option 3 est meilleure que les deux autres moyennes, mais les écarts entre les options ne sont pas si grands.

Une deuxième interprétation des résultats a été conçue afin de trouver une liaison entre les efforts budgétaires pour chaque option et le taux d'amélioration des coûts aux usagers. Les efforts budgétaires représentent les différences monétaires des coûts de l'administration entre les options 2, 3 et 4 par rapport à l'option de base. Ensuite, ces efforts budgétaires sont comparés aux valeurs totales des coûts aux usagers (CAU) de chaque option, y compris celle de base après 15 ans. Finalement les économies des coûts aux usagers par option, tant du point de vue montant que pourcentage sont calculés par rapport à l'option de base. Le dernier élément pris en compte dans cette analyse est le taux de rendement interne pour chaque option. Cette deuxième interprétation est illustrée dans le tableau 5.6 ci-dessous.

Tableau 5.6

Efforts budgétaires v/s Réduction des CAU actualisés

Option	Début des travaux	Effort budgétaire	CAU	Réduction CAU		Taux de rendement interne
	IRI	Millions $	Millions $	Millions $	%	%
Option de base			155.325			
Option 2	5	2.06	114.240	41.08	26.45	182.6
Option 3	3.2	3.98	112.035	43.29	27.87	169.9
Option 4	3.83	2.57	112.963	42.36	27.27	180.3

La première remarque de cette interprétation est relative à l'ordre de grandeur de ces coûts aux usagers, qui se situe au dessus de 100 millions de dollars pour une période de 15 ans.

La deuxième remarque vise les montants toujours importants des coûts aux usagers des options 2, 3 et 4, malgré le fait que des interventions aient été réalisées.

La troisième remarque consiste dans le dévoilement des différences énormes des efforts budgétaires pour arriver à des résultats quasi-similaires de point de vue réduction des coûts aux usagers. Pour un effort d'environ 2 millions de dollars la réduction des coûts aux usagers est de 26.5 % tandis que pour un effort budgétaire presque double, d'environ 4 millions de dollars, la réduction des coûts aux usagers est de seulement 28 %.

Finalement, pour chaque dollar investi, il y a un retour d'économie sur les coûts aux usagers de l'ordre de 10 à 20 dollars.

CHAPITRE 6

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Comme présenté dans le chapitre précédent, les usagers de la route supportent souvent des coûts démesurés comme conséquence directe de l'état pas toujours satisfaisant des routes. C'est une réalité et il faut en tenir compte. Les résultats obtenus dans le chapitre 5 nous montrent une moyenne de 10,35 millions dollars canadiens par an en coûts aux usagers pour un tronçon d'un kilomètre d'autoroute dans le cas où seulement l'entretien de routine est effectué. Dans les autres cas où plusieurs interventions sont effectuées, à part l'entretien de routine, la même moyenne annuelle des coûts aux usagers se situe entre 7,47 et 7,62 millions de dollars canadiens. Ce sont toujours de grandes valeurs, mais il ne faut pas se limiter à ces chiffres, il faut voir le tableau au complet, i.e. avec les coûts d'administration, avec les économies réalisées de point de vue des coûts aux usagers et avec les taux de rendement internes.

Dans ce contexte, c'est essentiel de remarquer le fait que pour chaque dollar investi, il y a un retour de 10 à 20 dollars en économie des coûts aux usagers. Cela devient évident que la rentabilité des investissements routiers de point de vue des coûts aux usagers est impressionnante. En ce qui concerne cet aspect, c'est fort probable qu'une vulgarisation des notions des coûts aux usagers et de la rentabilité des investissements routiers associée à ces coûts aux usagers, auprès des gestionnaires des routes, pourrait avoir des conséquences bénéfiques à moyen et long terme.

Une deuxième remarque s'arrête sur l'impact du report des travaux routiers. En d'autres termes, le fait de reporter les investissements routiers coûte plus cher aux usagers de la route et ce surcoût se présente de la manière suivante.

Quand les investissements routiers sont déclenchés au moment où la dégradation de la route atteint la valeur 3,2 de l'IRI, les économies dans les coûts aux usagers sont de 2,89 millions de dollars en moyenne par an, ce qui représente un pourcentage de 27,87 %.

Quand les investissements routiers sont reportés jusqu'au moment où la dégradation de la route atteint la valeur 3,83 de l'IRI, les économies dans les coûts aux usagers baissent à 2,82 millions de dollars, ce qui représente un pourcentage de 27,27 %.

Si les investissements sont reportés encore plus longtemps jusqu'au moment où la dégradation de la route atteint la valeur 5 de l'IRI, les économies dans les coûts aux usagers baissent à 2,74 millions de dollars, ce qui représente un pourcentage de 26,45 %.

Parmi les options qui se présentent afin de minimiser ces coûts aux usagers, il y a trois qui pourraient avoir une probabilité de succès assez élevée et il s'agit de :

1. Responsabiliser le secteur politique sur l'importance et la nécessité des investissements routiers. C'est sur que pour les décideurs d'ordre politique, il n'y a pas juste le domaine des routes comme priorité, mais c'est utile de savoir que pour chaque dollar investi dans les routes il y a de dix à vingt dollars d'économies aux usagers.

2. Attirer l'attention des responsables politiques sur les conséquences souvent négatives suite à un manque de consultation des professionnels et des administrations des routes au moment de la prise de décision.

3. Soutenir un programme de mise à jour de l'information concernant l'état de dégradation de routes au niveau réseau.

ANNEXE I

COÛTS ANNUELS ADMINISTRATION ET USAGERS (MILLIONS DOLLARS CANADIENS) OPTION 4

O sec : RTEVE Cl. de route : Primaire ou structurant

Longueur : 1.060 km Largeur : 24.10 m Dénivelé : 1.00 m/km Sinuosité : 70.00 deg/km

Année	Coûts administration (RAC)				Coûts usagers (RUC)					Coûts exogènes nets	Coût total de Transport
	Investis.	Fonction.	Spécial	Total RAC	CEV véh. motorisés	Temps véh. motorisés	CEV & temps v. non mot.	Accidents	Total RUC		
2007	0.651	0.000	0.000	0.651	8.350	0.253	0.000	0.000	8.603	0.000	9.254
2008	0.000	0.000	0.000	0.000	7.815	0.246	0.000	0.000	8.062	0.000	8.062
2009	0.000	0.000	0.000	0.000	7.753	0.241	0.000	0.000	7.994	0.000	7.994
2010	0.579	0.000	0.000	0.579	7.856	0.238	0.000	0.000	8.094	0.000	8.674
2011	0.000	0.000	0.000	0.000	7.493	0.230	0.000	0.000	7.723	0.000	7.723
2012	0.000	0.000	0.000	0.000	7.432	0.225	0.000	0.000	7.657	0.000	7.657
2013	0.515	0.000	0.000	0.515	7.524	0.221	0.000	0.000	7.745	0.000	8.260
2014	0.000	0.000	0.000	0.000	7.189	0.215	0.000	0.000	7.405	0.000	7.405
2015	0.000	0.001	0.000	0.001	7.132	0.211	0.000	0.000	7.342	0.000	7.343
2016	0.456	0.000	0.000	0.456	7.224	0.206	0.000	0.000	7.430	0.000	7.886
2017	0.000	0.000	0.000	0.000	6.904	0.201	0.000	0.000	7.106	0.000	7.106
2018	0.000	0.001	0.000	0.001	6.854	0.197	0.000	0.000	7.051	0.000	7.052
2019	0.407	0.000	0.000	0.407	6.955	0.193	0.000	0.000	7.149	0.000	7.555
2020	0.000	0.000	0.000	0.000	6.636	0.189	0.000	0.000	6.825	0.000	6.825
2021	0.000	0.001	0.000	0.001	6.593	0.184	0.000	0.000	6.776	0.000	6.778
Total	2.610	0.002	0.000	2.612	109.713	3.250	0.000	0.000	112.963	0.000	115.575

Tous les coûts sont actualisés à 4.00 %

ANNEXE II

COÛTS ANNUELS ADMINISTRATION ET USAGERS (MILLIONS DOLLARS CANADIENS) OPTION 2

Projet : RTEVE Classe route : Primaire ou structurant

Longueur : 1,000 km Largeur : 24.10 m Densité : 1.10 m/km² Sinuosité : 70.10 deg/km

Année	Coûts administration (RAC)				Coûts usagers (RUC)					Coûts exogènes nets	Coût total de Transport
	Investis	Fonction.	Spécia	Total RAC	CEV véh motorisés	Temps véh motorisés	CEV & temps v non mot.	Accidents	Total RUC		
2007	1.357	0.000	0.000	1.357	9.350	0.253	0.000	0.000	9.603	0.000	9.254
2008	0.000	0.000	0.000	0.000	7.916	0.246	0.000	0.000	8.162	0.000	8.082
2009	0.000	0.000	0.000	0.000	7.753	0.241	0.000	0.000	7.994	0.000	7.994
2010	0.000	0.001	0.000	0.001	7.958	0.236	0.000	0.000	8.194	0.000	8.096
2011	0.567	0.000	0.000	0.567	8.000	0.232	0.000	0.000	8.232	0.000	8.799
2012	0.000	0.000	0.000	0.000	7.390	0.225	0.000	0.000	7.615	0.000	7.615
2013	0.000	0.000	0.000	0.000	7.382	0.220	0.000	0.000	7.563	0.000	7.552
2014	0.000	0.001	0.000	0.001	7.432	0.216	0.000	0.000	7.649	0.000	7.649
2015	0.476	0.000	0.000	0.476	7.572	0.212	0.000	0.000	7.784	0.000	8.260
2016	0.000	0.000	0.000	0.000	7.996	0.208	0.000	0.000	7.204	0.000	7.204
2017	0.000	0.001	0.000	0.001	6.952	0.202	0.000	0.000	7.154	0.000	7.155
2018	0.000	0.001	0.000	0.001	7.270	0.197	0.000	0.000	7.269	0.000	7.269
2019	0.407	0.000	0.000	0.407	7.221	0.194	0.000	0.000	7.415	0.000	7.822
2020	0.000	0.000	0.000	0.000	6.837	0.192	0.000	0.000	6.929	0.000	6.829
2021	0.000	0.001	0.000	0.001	6.905	0.184	0.000	0.000	6.790	0.000	6.790
Total	2.991	1.105	0.000	3.096	110.996	3.254	0.000	0.000	114.250	0.000	116.338

Tous les coûts sont actualisés à 4.00 %

ANNEXE III

COÛTS ANNUELS ADMINISTRATION ET USAGERS (MILLIONS DOLLARS CANADIENS) OPTION 3

Secteur : BTEVE Classe route : Primaire ou structurant

Longueur : 1,000 km Largeur : 24.10 m Dénivelé : 1.00 m/km Sinuosité : 71.10 deg/km

Année	Coûts administration (BAC)				Coûts usagers (BUC)					Coûts exogènes nets	Coût total de Transport
	Investis	Fonction.	Spécia	Total BAC	CEV véh motorisés	Temps véh motorisés	CEV & temps v. non mot.	Accidents	Total BUC		
2007	1 361	0.000	1 000	1 361	8 350	0.253	1 000	0.000	9 303	0.000	9.264
2008	1 000	0.000	1 000	1 000	7 816	0.246	1 000	0.000	8 062	0.000	8.062
2009	1 302	0.000	1 000	1 302	7 753	0.241	1 000	0.000	7 994	0.000	8.697
2010	1 000	0.000	1 000	1 000	7 595	0.236	1 000	0.000	7 833	0.000	7.833
2011	1 557	0.000	1 000	1 557	7 534	0.230	1 000	0.000	7 764	0.000	9.321
2012	1 000	0.000	1 000	1 000	7 389	0.225	1 000	0.000	7 614	0.000	7.614
2013	1 915	0.000	1 000	1 915	7 323	0.220	1 000	0.000	7 544	0.000	9.459
2014	1 000	0.000	1 000	1 000	7 189	0.215	1 000	0.000	7 404	0.000	7.404
2015	1 478	0.000	1 000	1 478	7 124	0.211	1 000	0.000	7 335	0.000	8.813
2016	1 000	0.000	1 000	1 000	6 996	0.206	1 000	0.000	7 202	0.000	7.202
2017	1 440	0.000	1 000	1 440	6 936	0.202	1 000	0.000	7 137	0.000	8.577
2018	1 000	0.000	1 000	1 000	6 812	0.197	1 000	0.000	7 009	0.000	7.009
2019	1 407	0.000	1 000	1 407	6 754	0.193	1 000	0.000	6 947	0.000	8.354
2020	1 000	0.000	1 000	1 000	6 636	0.189	1 000	0.000	6 823	0.000	6.823
2021	1 376	0.000	1 000	1 376	6 560	0.184	1 000	0.000	6 765	0.000	8.141
Total	4.024	1.000	0.000	4.024	108.737	3.249	1.000	0.000	112.035	0.000	116.060

Tous les coûts sont actualisés à 4.00 %

ANNEXE IV

COÛTS ANNUELS ADMINISTRATION ET USAGERS (MILLIONS DOLLARS CANADIENS) OPTION DE BASE

D sect : RTEVE Cl. de route : Primaire ou structurant

Longueur : 1,060 km Largeur : 24.10 m Dénivelé : 1.00 m/km Sinuosité : 70.00 deg/km

Année	Coûts administration (RAC)				Coûts usagers (RUC)					Coûts exogènes nets	Coût total de Transport
	Investis.	Fonction.	Spécial	Total RAC	CEV véh. motorisés	Temps véh motorisés	CEV & temps v. non mot.	Accidents	Total RUC		
2007	0.000	0.019	0.000	0.019	8.350	0.253	0.000	0.000	8.603	0.000	8.622
2008	0.000	0.018	0.000	0.018	8.574	0.252	0.000	0.000	8.825	0.000	8.843
2009	0.000	0.000	0.000	0.000	8.800	0.261	0.000	0.000	9.061	0.000	9.061
2010	0.000	0.000	0.000	0.000	9.960	0.355	0.000	0.000	10.314	0.000	10.314
2011	0.000	0.000	0.000	0.000	11.101	0.437	0.000	0.000	11.539	0.000	11.538
2012	0.000	0.000	0.000	0.000	10.948	0.427	0.000	0.000	11.376	0.000	11.376
2013	0.000	0.000	0.000	0.000	10.799	0.418	0.000	0.000	11.217	0.000	11.217
2014	0.000	0.000	0.000	0.000	10.653	0.409	0.000	0.000	11.061	0.000	11.061
2015	0.000	0.000	0.000	0.000	10.509	0.400	0.000	0.000	10.909	0.000	10.909
2016	0.000	0.000	0.000	0.000	10.369	0.391	0.000	0.000	10.760	0.000	10.760
2017	0.000	0.000	0.000	0.000	10.231	0.382	0.000	0.000	10.613	0.000	10.613
2018	0.000	0.000	0.000	0.000	10.096	0.374	0.000	0.000	10.470	0.000	10.470
2019	0.000	0.000	0.000	0.000	9.964	0.366	0.000	0.000	10.329	0.000	10.329
2020	0.000	0.000	0.000	0.000	9.834	0.358	0.000	0.000	10.191	0.000	10.191
2021	0.000	0.000	0.000	0.000	9.707	0.350	0.000	0.000	10.056	0.000	10.056
Total	0.000	0.037	0.000	0.037	149.895	5.430	0.000	0.000	155.325	0.000	155.362

Tous les coûts sont actualisés à 4.00 %

ANNEXE V

SYNTHÈSE DES INDICATEURS ÉCONOMIQUES DE 2007 À 2021 (MILLIONS DOLLARS CANADIENS)

Section : Section 11

Option	Coûts actual. administration totaux (RAC)	Coûts actual. administration investissement (CAP)	Surcoûts administration (C)	Economie coûts usagers (B)	Avantages exogènes (E)	Bénéfice actualisé (NPV = B + E - C)	Rapport Bén./coût (NPV/RAC)	Rapport bén./ investissement (NPV/CAP)	Taux de rentabilité interne (IRR)
Option de base	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000
Option 2 Ville Mt	2.10	2.09	2.06	41.09	0.00	39.03	18.623	18.683	192.6 (1)
Option3MTQ	4.02	4.02	3.98	43.29	0.00	39.30	9.766	9.766	189.9 (1)
Option4PJCCI	2.61	2.61	2.57	42.36	0.00	39.79	15.230	15.244	190.2 (1)

ANNEXE VI

COÛTS AUX USAGERS PAR VÉHICULE DANS L'OPTION DE BASE (DOLLARS CANADIENS)

Légende : cellule type :
ligne 1 = coût d'exploitation, moyenne annuelle par véh-km
ligne 2 = coût du temps, moyenne annuelle par véh-km
ligne 3 = coût à l'usager, moyenne annuelle par véh-km

Section : Section 11
Option : Option de base

ID sect : RTEME — Code route : Primaire ou structurant

Longueur : 1.060 km — Largeur : 24.10 m — Dénivelé : 1.00 m/km — Sinuosité : 70.90 deg/km

	Bus Leyland	Camion lourd	Camion Tata 7.5T	Minibus Toyota	Pick-up Nissan	Toyota Corolla	Total
2007	0.68 0.11 0.80	0.97 0.00 0.97	0.46 0.00 0.46	0.30 0.03 0.33	0.25 0.00 0.25	0.17 0.00 0.17	2.83 0.16 2.99
2008	0.72 0.12 0.83	1.02 0.00 1.02	0.48 0.00 0.48	0.31 0.03 0.34	0.26 0.00 0.26	0.17 0.00 0.18	2.96 0.16 3.12
2009	0.75 0.13 0.88	1.06 0.00 1.06	0.50 0.00 0.50	0.32 0.04 0.36	0.27 0.00 0.27	0.18 0.00 0.18	3.09 0.17 3.26
2010	0.91 0.19 1.10	1.25 0.00 1.25	0.57 0.00 0.57	0.38 0.05 0.43	0.31 0.00 0.31	0.19 0.01 0.20	3.62 0.25 3.87
2011	1.02 0.22 1.24	1.40 0.00 1.40	0.63 0.00 0.63	0.45 0.06 0.51	0.36 0.00 0.36	0.22 0.01 0.22	4.07 0.30 4.37
2012	1.02 0.22 1.24	1.40 0.00 1.40	0.63 0.00 0.63	0.45 0.06 0.51	0.36 0.00 0.36	0.22 0.01 0.22	4.07 0.30 4.37
2013	1.02 0.22 1.24	1.40 0.00 1.40	0.63 0.00 0.63	0.45 0.06 0.51	0.36 0.00 0.36	0.22 0.01 0.22	4.07 0.30 4.37
2014	1.02 0.22 1.24	1.40 0.00 1.40	0.63 0.00 0.63	0.45 0.06 0.51	0.36 0.00 0.36	0.22 0.01 0.22	4.07 0.30 4.37
2015	1.02 0.22 1.24	1.40 0.00 1.40	0.63 0.00 0.63	0.45 0.06 0.51	0.36 0.00 0.36	0.22 0.01 0.22	4.07 0.30 4.37
2016	1.02 0.22 1.24	1.40 0.00 1.40	0.63 0.00 0.63	0.45 0.06 0.51	0.36 0.00 0.36	0.22 0.01 0.22	4.07 0.30 4.37
2017	1.02 0.22 1.24	1.40 0.00 1.40	0.63 0.00 0.63	0.45 0.06 0.51	0.36 0.00 0.36	0.22 0.01 0.22	4.07 0.30 4.37
2018	1.02 0.22 1.24	1.40 0.00 1.40	0.63 0.00 0.63	0.45 0.06 0.51	0.36 0.00 0.36	0.22 0.01 0.22	4.07 0.30 4.37

ANNEXE VI (SUITE)

COÛTS AUX USAGERS PAR VÉHICULE DANS L'OPTION DE BASE (DOLLARS CANADIENS)

	Bus Leyland	Camion lourd	Camion Tata 7.5T	Minibus Toyota	Pick-up Nissan	Toyota Corolla	Total
2019	1.02 0.22 1.24	1.40 0.00 1.40	0.63 0.00 0.63	0.45 0.06 0.51	0.36 0.00 0.36	0.22 0.01 0.22	4.07 0.30 4.37
2020	1.02 0.22 1.24	1.40 0.00 1.40	0.63 0.00 0.63	0.45 0.06 0.51	0.36 0.00 0.36	0.22 0.01 0.22	4.07 0.30 4.37
2021	1.02 0.22 1.24	1.40 0.00 1.40	0.63 0.00 0.63	0.45 0.06 0.51	0.36 0.00 0.36	0.22 0.01 0.22	4.07 0.30 4.37
Total	14.31 2.93 17.23	19.68 0.03 19.71	9.96 0.03 9.00	6.24 0.85 7.09	5.01 0.03 5.05	3.10 0.11 3.21	57.29 4.00 61.29

ANNEXE VII

COÛTS AUX USAGERS PAR VÉHICULE DANS L'OPTION 2 (DOLLARS CANADIENS)

Légende : dans chaque case :
ligne 1 = coût d'exploitation, moyenne annuelle par veh-km
ligne 2 = coût du temps, moyenne annuelle par veh-km
ligne 3 = coût à l'usager, moyenne annuelle par veh-km

Section : Section 11
Option : Option 2 Ville Mtl

ID sect : RTEME — Code route : Primaire ou structurant

Longueur : 1.060 km — Largeur : 24.10 m — Dénivelé : 1.00 m/km — Sinuosité : 70.00 deg/km

	Bus Leyland	Camion lourd	Camion Tata 7.5T	Minibus Toyota	Pick-up Nissan	Toyota Corolla	Total
2007	0.68 0.11 0.80	0.97 0.00 0.97	0.46 0.00 0.46	0.30 0.03 0.33	0.25 0.00 0.25	0.17 0.00 0.17	2.83 0.16 2.99
2008	0.63 0.11 0.75	0.90 0.00 0.90	0.43 0.00 0.43	0.29 0.03 0.32	0.24 0.00 0.25	0.16 0.00 0.17	2.65 0.16 2.81
2009	0.64 0.11 0.75	0.90 0.00 0.90	0.43 0.00 0.43	0.29 0.03 0.32	0.25 0.00 0.25	0.16 0.00 0.17	2.67 0.16 2.83
2010	0.66 0.11 0.78	0.94 0.00 0.94	0.45 0.00 0.45	0.30 0.03 0.33	0.25 0.00 0.25	0.17 0.00 0.17	2.78 0.16 2.92
2011	0.69 0.11 0.81	0.99 0.00 0.99	0.47 0.00 0.47	0.30 0.03 0.34	0.25 0.00 0.26	0.17 0.00 0.17	2.87 0.16 3.03
2012	0.63 0.11 0.75	0.90 0.00 0.90	0.43 0.00 0.43	0.29 0.03 0.32	0.24 0.00 0.25	0.16 0.00 0.17	2.65 0.16 2.81
2013	0.64 0.11 0.75	0.90 0.00 0.90	0.43 0.00 0.43	0.29 0.03 0.32	0.25 0.00 0.25	0.16 0.00 0.17	2.67 0.16 2.82
2014	0.66 0.11 0.78	0.94 0.00 0.94	0.45 0.00 0.45	0.29 0.03 0.33	0.25 0.00 0.25	0.17 0.00 0.17	2.78 0.16 2.92

ANNEXE VII (SUITE)

COÛTS AUX USAGERS PAR VÉHICULE DANS L'OPTION 2 (DOLLARS CANADIENS)

	Bus Leyland	Camion lourd	Camion Tata 7.5T	Minibus Toyota	Pick-up Nissan	Toyota Corolla	Total
2015	0.89	0.99	0.46	0.30	0.25	0.17	2.67
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.91	0.99	0.47	0.34	0.26	0.17	3.02
2016	0.83	0.90	0.43	0.29	0.24	0.16	2.85
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.75	0.90	0.43	0.32	0.25	0.17	2.81
2017	0.84	0.90	0.43	0.29	0.25	0.16	2.87
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.75	0.90	0.43	0.32	0.25	0.17	2.93
2018	0.87	0.95	0.45	0.30	0.25	0.17	2.77
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.76	0.95	0.45	0.33	0.25	0.17	2.93
2019	0.70	0.99	0.47	0.30	0.26	0.17	2.89
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.91	0.99	0.47	0.34	0.26	0.17	3.04
2020	0.83	0.90	0.43	0.29	0.24	0.16	2.85
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.75	0.90	0.43	0.32	0.25	0.17	2.81
2021	0.84	0.91	0.43	0.29	0.25	0.16	2.89
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.75	0.91	0.43	0.32	0.25	0.17	2.93
Total	9.55	13.95	6.63	4.41	3.72	2.47	41.04
	1.70	0.02	0.02	0.50	0.02	0.07	2.33
	11.56	13.97	6.65	4.92	3.74	2.54	43.37

ANNEXE VIII

COÛTS AUX USAGERS PAR VÉHICULE DANS L'OPTION 3 (DOLLARS CANADIENS)

Légende : pour chaque case : ligne 1 = coût d'exploitation moyenne annuelle par véh-km
ligne 2 = coût du temps moyenne annuelle par véh-km
ligne 3 = coût à l'usager moyenne annuelle par véh-km

Section : Section 11
Option : Option 3MTQ

ID sect : B7EME — ID de route : Principale ou structurant

Longueur : 1.080 km — Largeur : 24.10 m — Pente : 1.00 m/km — Courbe : 70.00 deg/km

	Bus Leyland	Camion lourd	Camion Tata 7.5T	Minibus Toyota	Pick-up Nissan	Toyota Corolla	Total
2007	1.38 0.11 1.50	0.97 0.01 0.97	1.46 0.00 0.46	0.30 0.03 0.33	1.25 0.00 1.25	0.17 0.00 0.17	5.53 0.15 5.68
2008	1.38 0.11 1.75	0.90 0.01 0.90	1.43 0.00 1.43	0.29 0.03 0.32	1.24 0.00 1.25	0.16 0.00 0.17	5.69 0.15 5.91
2009	1.34 0.11 1.75	0.90 0.01 0.90	1.43 0.00 1.43	0.29 0.03 0.32	1.25 0.00 1.25	0.16 0.00 0.17	5.67 0.15 5.93
2010	1.38 0.11 1.75	0.90 0.01 0.90	1.43 0.00 1.43	0.29 0.03 0.32	1.24 0.00 1.25	0.16 0.00 0.17	5.69 0.15 5.91
2011	1.34 0.11 1.75	0.90 0.01 0.90	1.43 0.00 1.43	0.29 0.03 0.32	1.25 0.00 1.25	0.16 0.00 0.17	5.67 0.15 5.92
2012	1.38 0.11 1.75	0.90 0.01 0.90	1.43 0.00 1.43	0.29 0.03 0.32	1.24 0.00 1.25	0.16 0.00 0.17	5.69 0.15 5.91
2013	1.34 0.11 1.75	0.90 0.01 0.90	1.43 0.00 1.43	0.29 0.03 0.32	1.24 0.00 1.25	0.16 0.00 0.17	5.67 0.15 5.92
2014	1.38 0.11 1.75	0.90 0.01 0.90	1.43 0.00 1.43	0.29 0.03 0.32	1.24 0.00 1.25	0.16 0.00 0.17	5.69 0.15 5.91
2015	1.34 0.11 1.75	0.90 0.01 0.90	1.43 0.00 1.43	0.29 0.03 0.32	1.24 0.00 1.25	0.16 0.00 0.17	5.66 0.15 5.92
2016	1.38 0.11 1.75	0.90 0.01 0.90	1.43 0.00 1.43	0.29 0.03 0.32	1.24 0.00 1.25	0.16 0.00 0.17	5.68 0.15 5.91
2017	1.34 0.11 1.75	0.90 0.01 0.90	1.43 0.00 1.43	0.29 0.03 0.32	1.24 0.00 1.25	0.16 0.00 0.17	5.66 0.15 5.92
2018	1.38 0.11 1.75	0.90 0.01 0.90	1.43 0.00 1.43	0.29 0.03 0.32	1.24 0.00 1.25	0.16 0.00 0.17	5.68 0.15 5.91

ANNEXE VIII (SUITE)

COÛTS AUX USAGERS PAR VÉHICULE DANS L'OPTION 3 (DOLLARS CANADIENS)

	Bus Leyland	Camion lourd	Camion Tata 7,5T	Minibus Toyota	Pick-up Nissan	Toyota Corolla	Total
2019	0.84 0.11 0.75	0.90 0.00 0.90	1.43 0.00 1.43	0.29 0.03 0.32	1.24 0.00 1.26	0.19 0.00 0.17	2.80 0.16 2.62
2020	0.83 0.11 0.75	0.90 0.00 0.90	1.43 0.00 1.43	0.29 0.03 0.32	1.24 0.00 1.26	0.19 0.00 0.17	2.85 0.13 2.91
2021	0.84 0.11 0.75	0.90 0.00 0.90	1.43 0.00 1.43	0.29 0.03 0.32	1.24 0.00 1.26	0.19 0.00 0.17	2.80 0.16 2.62
Total	9.58 1.70 11.22	13.64 0.02 13.66	1.45 0.02 1.47	4.36 0.60 4.86	3.68 0.02 3.70	2.44 0.07 2.50	40.04 2.33 42.37

ANNEXE IX

COÛTS AUX USAGERS PAR VÉHICULE DANS L'OPTION 4 (DOLLARS CANADIENS)

Légende : cellule grise claire : ligne 1 = coût d'exploitation moyenne annuelle par véh-km
ligne 2 = coût du temps moyenne annuelle par véh-km
ligne 3 = coût à l'usager moyenne annuelle par véh-km

Section : Section 11
Option : Option4PJCCI

ID sect : RTEME — Code route : Primaire ou structurant

Longueur : 1.060 km — Largeur : 24.10 m — Dénivelé : 1.00 m/km — Sinuosité : 70.00 deg/km

	Bus Leyland	Camion lourd	Camion Tata 7,5T	Minibus Toyota	Pick-up Nissan	Toyota Corolla	Total
2007	0.68	0.97	0.46	0.30	0.25	0.17	2.83
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.80	0.97	0.46	0.33	0.25	0.17	2.98
2008	0.63	0.90	0.43	0.29	0.24	0.16	2.65
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.75	0.90	0.43	0.32	0.25	0.17	2.81
2009	0.64	0.90	0.43	0.29	0.25	0.16	2.67
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.75	0.90	0.43	0.32	0.25	0.17	2.83
2010	0.66	0.94	0.45	0.30	0.25	0.17	2.76
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.78	0.94	0.45	0.33	0.25	0.17	2.92
2011	0.63	0.90	0.43	0.29	0.24	0.16	2.65
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.75	0.90	0.43	0.32	0.25	0.17	2.81
2012	0.64	0.90	0.43	0.29	0.25	0.16	2.67
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.75	0.90	0.43	0.32	0.25	0.17	2.82
2013	0.66	0.94	0.45	0.29	0.25	0.17	2.76
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.78	0.94	0.45	0.33	0.25	0.17	2.91
2014	0.63	0.90	0.43	0.29	0.24	0.16	2.65
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.75	0.90	0.43	0.32	0.25	0.17	2.81
2015	0.64	0.90	0.43	0.29	0.25	0.16	2.67
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.75	0.90	0.43	0.32	0.25	0.17	2.82
2016	0.66	0.94	0.45	0.29	0.25	0.17	2.76
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.78	0.94	0.45	0.33	0.25	0.17	2.91
2017	0.63	0.90	0.43	0.29	0.24	0.16	2.65
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.75	0.90	0.43	0.32	0.25	0.17	2.81
2018	0.64	0.90	0.43	0.29	0.25	0.16	2.67
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.75	0.90	0.43	0.32	0.25	0.17	2.82

ANNEXE IX (SUITE)

COÛTS AUX USAGERS PAR VÉHICULE DANS L'OPTION 4 (DOLLARS CANADIENS)

	Bus Leyland	Camion lourd	Camion Tata 7.5T	Minibus Toyota	Pick-up Nissan	Toyota Corolla	Total
2019	0.66	0.94	0.45	0.29	0.25	0.17	2.76
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.78	0.94	0.45	0.33	0.25	0.17	2.92
2020	0.63	0.90	0.43	0.29	0.24	0.16	2.65
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.75	0.90	0.43	0.32	0.25	0.17	2.81
2021	0.64	0.90	0.43	0.29	0.25	0.16	2.67
	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.16
	0.75	0.90	0.43	0.32	0.25	0.17	2.83
Total	9.69	13.72	6.53	4.39	3.70	2.45	40.48
	1.70	0.02	0.02	0.50	0.02	0.07	2.33
	11.40	13.74	6.56	4.89	3.72	2.52	42.80

BIBLIOGRAPHIE

1. Bruzelius, N., 1978, The Value of Travel Time: Theory and Measurement, University of Stockholm, Skrift Nr., Sweden

2. Buchanan, J., 1991, "Opportunity Cost" in The New Palgrave: The World of Economics, The Macmillan Press Limited, New York, New York, 520-525 p.

3. The MVA Consultancy and the Transport Studies Unit University of Oxford, 1987, "The Value of Travel Time Savings", Newbury, Berks: Policy Journals, Newbury, England

4. Fowkes, A.S., 1986, The Value of Business Travel Time Savings, Working Paper 214, Institute for Transport Studies, University of Leeds, England

5. Gronau, R., 1970, The Value of Time in Passenger Transportation: The Demand for Air Travel, Columbia University Press, New York, New York

6. De Vany, A., 1971, Value of Time in Air Travel: Theory and Evidence, Research Contribution No. 162, Center for Naval Analysis, University of Rochester, New York

7. Hensher, D.A., 1974, Consumer Preferences in Urban Trip-Making, Commonwealth Bureau of Roads, Melbourne, Australia

8. Hensher, D.A., 1976, "Review of Studies Leading to Existing Values of Travel Time", Transportation Research Record 587, Transportation Research Board, Washington, D.C.

9. Fleischer, G.A., 1962, The Economic Utilization of Commercial Vehicle Time Saved as the Result of Highway Improvements, Stanford University, California

10. Hagging, C.R. and W.F. McFarland, 1963, Value of Time Saved to Commercial Motor Vehicles Through Use of Improved Highways, Bulletin 23, Texas Transportation Institute, Texas

11. Kamerud, D.B., 1983, "The 55 MPH Limit: Costs, Benefits and Implied Trade-Offs", Transportation Research, Vol. 17A, No. 1, Pergamon Press, Elsevier Ltd., Exeter, England, 51-64 p.

12. Fowkes, A.S., P. Marks, and C.A. Nash, 1986, The Value of Business Travel Time Savings, Working Paper No. 214, Institute for Transport Studies, University of Leeds, England

13. Gelman Research Associates, 1987, The Value of Time in Cost Benefit Analysis, Final Interim Report, Federal Aviation Administration, Washington, D.C.

14. Domenich, T.A. and D. McFadden, 1975, Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis, North Holland, Amsterdam

15. Lee, N. and M.O. Dalvi, 1971, "Variations in the Value of Travel Time: Further Analysis", The Manchester School of Economics and Social Studies, Vol. 39

16. Hensher, D.A., 1976, "Valuation of Commuter Travel Time Savings: Empirical Using an Alternative Valuation Model", Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 10

17. Heggie, A., 1976, "A Diagnostic Survey of Urban Journey to Work Behaviour" in Modal Choice and the Value of Travel Time, Oxford, England

18. Haue, E. and J.C. Greenough, 1982, A Direct Method for Value of Time Estimation, Transportation Research, Part A-General, Vol. 16, No. 3, Pergamon Press, Elsevier Ltd., Exeter, England, 163-172 p.

19. The MVA Consultancy and the Transport Studies Unit University of Oxford, 1987, "The Value of Travel Time Savings", Newbury, Berks: Policy Journals, Newbury, England

20. Ghosh, D., D. Lees and W. Seal, 1975, "Optimal Motorway Speed and Some Valuations of Life and Time", The Manchester School of Economics and Social Studies, Vol.73, Manchester, England, 135-143 p.

21. Jondrow, J.M., M. Bowes and R.A. Levy, 1982, "Optimal Speed Limit: A New Approach", Transportation Research Record 887, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1-1 p.

22. McFarland, W.F. and M.K. Chui, 1987, The Value of Travel Time: New Estimates Developed Using a Speed Choice Model, Texas Transportation Institute, College Station, Texas

23. Hickling Lewis Brod Inc., 1994, Research Strategies for Improving Highway User Cost-Estimating Methodologies, Final Report, National Cooperative Highway Research Program Project 2-18, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 77 p.

24. Brod, D., 1991, Literature Review of Current Methods for Estimating Safety Effects and Costs of Highway Use: Technical Memorandum of Partial Tasks 1 and 2, National Cooperative Highway Research Program Project 2-18, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 33 p.

25. Wolfe, A.C., 1982, "The Concept of Exposure to the Risk of a Road Traffic Accident and an Overview of Exposure Data Collection Methods", Accident Analysis and Prevention, Vol. 14, No. 5

26. Chipman, M.L., 1982, "The Role of Exposure, Experience and Demerit Point Levels in the Risk of Collision", Accident Analysis and Prevention, Vol. 14, No. 5

27. Hauer, E., 1982, "Traffic Conflicts and Exposure", Accident Analysis and Prevention, Vol. 14, No. 5

28. Texas Transportation Institute, 1990, Progress Report on Literature Review and Assessment of Procedures and Data, Technical Memorandum for NCHRP 7-12, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 173 p.

29. Fee (nee Cirillo), J.A. et al., 1970, Interstate System Accident Research Study – 1, Offices of Research and Development, Traffic Systems Division, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

30. Miller, T.R., S. Luchter and C.P. Brinkman, 1989, "Crash Cost and Safety Investment", Accident Analysis and Prevention, Vol. 21, No. 4, 303-315 p.

31. Special Report 213: Designing Safer Roads: Practices for Resurfacing, Restoration and Rehabilitation, 1987, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., Chapter 3

32. Mahalel, D., 1986, "A Note on Accident Risk", Transportation Research Record 1068: Traffic Accident Analysis, Alcohol Involvement and Evaluation of Highway Improvements, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

33. Rice, D.P. et al., 1989, "Cost of Injury in the United States: A Report to Congress", Institute for Health and Aging, University of California, San Francisco, and Injury Prevention Center, Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland

34. Miller, T.R., C. Calhoun and W.B. Arthur,1989, "Utility-Adjusted Impairment Years: A Low-Cost Approach to Morbidity Valuation", Estimating and Valuing Morbidity in a Policy Context: Proceedings of a June 1989 AERE Workshop, EPA-230-08-89-065, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

35. Accident Facts, 1988, National Safety Council, Chicago, Illinois

36. Regulatory Program of the United States, 1989, Office of Management and Budget, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

37. Marquez, J., April 10,1986, Memorandum from the General Counsel, Office of the Secretary , to the Regulation Council, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.

38. Miller, T.R., K.A. Reinart and B.E. Whiting, 1983, Alternative Approaches to Accident Costs Concepts, Report to U.S. Federal Highway Administration, Washington, D.C.

39. Brown, C., 1980, "Equalizing Differences in the Labour Market", Quarterly Journal of Economics, Vol. 94, 113-134 p.

40. Dillingham, A.E., 1985, "The Influence of Risk Variable Definition on Value-of-Life Estimates", Economic Inquiry, Vol. 24, 277-294 p.

41. Landefeld, J.S. and E.P. Seskin, 1982, "The Economic Value of Life: Linking Theory to Practice", American Journal of Public Health, Vol. 72, 555-566 p.

42. Bein, P., 1991, Literature Review of Current Methods for Estimating Vehicle Operating Costs: Technical Memorandum of Partial Tasks 1 and 2, National Cooperative Highway Research Program Project 2-18, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 307 p.

43. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), 1983, "Impacts of Heavy Freight Vehicles", Road Research Group, Paris, 169 p.

44. A Manual on User Benefit Analysis of Highway and Bus Transit Improvements 1977, 1978, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 189 p.

45. Winfrey, R., 1969, Economic Analysis for Highways, International Textbook Company, Scranton, Pennsylvania, 923 p.

46. Claffey, P.J., 1971, Running Costs of Motor Vehicle Accidents as Affected by Road Design and Traffic, National Cooperative Highway Research Program Report 111, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 97 p.

47. A Manual on User Benefit Analysis of Highway and Bus Transit Improvements 1977, 1977, op. cit., 166 p.

48. Zaniewski, J.P., B.C. Butler Jr., G. Cunningham, G.E. Elkins, M. Paggi and R. Machemehl, 1982, Vehicle Operating Costs, Fuel Consumption and Pavement Type and Condition Factors, Report No. FHWA/PL/82/001, Office of Highway Planning, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 115 p.

49. Truck Inventory and Use Survey, 1977, Bureau of Census, Department of Commerce, Washington, D.C.

50. Ullman, J.E., 1980, Cost of Owning and Operating Automobiles and Vans, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.

51. Barreire, W., T.E. Smith and H.C. Hodges, 1974, Transportation Case Study: Tire Wear Test, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.

52. Daniels, C., 1974, Vehicle Operating Costs in Transport Studies with Special Reference to the Work of the EIU in Africa, EIU Technical Series No. 1, The Economist Intelligence Unit, Spencer House, London

53. Bein, P., J.B. Cox and N.D. Lea, 1989, Adapting the Brazil/UNDP Cost Research to Canadian Conditions, Final Report, Roads and Transportation Association of Canada, Ottawa

54. Biggs, D.C., 1988, "ARFCOM-Models for Estimating Light to Heavy Vehicle Fuel Consumption", Australian Road Research Board, Research Report ARR 152, 61 p.

55. Biggs, D.C., 1990, "Comparison of Observed Heavy Vehicle Fuel Consumption in Canada with Estimates Produced by ARFCOM", Australian Road Research, Vol. 20, No. 3, 11 p.

56. NIMPAC Road Planning Model, 1979, National Association of Australian State Road Authorities, Sydney, Australia

57. Review of Road Vehicle Limits, Heavy Freight Vehicle Operating Costs, 1985, National Association of Australian State Road Authorities, Sydney, Australia

58. Hammarstrom, U. and B. Karlsson, 1987, "VETO-et dator-program for berakning av transportkostnader som funktion av vagstandard (VETO-A Computer Program for Calculation of Transport Costs as a Function of Road Standards (in Swedish with English summary and figure captions)", VTI Meddelande 501, Swedish Road and Traffic Research Institute (VTI), Linkoping, Sweden, 164 p.

59. Leitch, G., 1988, Report of the Advisory Committee on Trunk Road Assessment, Department of Transport, Her Majesty's Stationary Office, London, 207 p.

60. Allsop, R.E., M.J.H. Mogridge, J.P. Silcock and S. Gallivan, 1986, Comparison of the Use of COBA, CONTRAM and TRAFFICQ for the Economic Appraisal of Road Improvement Schemes in Urban Areas, Transport and Road Research Laboratory: Contractor Report 37, Transport and Road Research Laboratory, England, 66 p.

61. Getting the Best Roads for Our Money: The COBA Method of Appraisal, 1989, Department of Transport, Her Majesty's Stationary Office, London, 31 p.

62. Dawson, R.F.F., 1972, Vehicle Operating Costs in 1970, Transport and Road Research Laboratory Report 439, Transport and Road Research Laboratory, England, 9 p.

63. Dawson, R.F.F. and P. Vass, 1973, Vehicle Operating Costs in 1973, Transport and Road Research Laboratory Report 661, Transport and Road Research Laboratory, England, 8 p.

64. Ramshaw, J. and T. Williams, 1981, The Rolling Resistance of Commercial Vehicle Tires, Transport and Road Research Laboratory Report 701, Transport and Road Research Laboratory, England

65. Jauhari, A., 1991, Literature Review of Current Methods for Estimating Vehicle Operating Costs: Technical Memorandum of Partial Tasks 1 and 2, National Cooperative Highway Research Program Project 2-18, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

66. Mendelsohn, R., 1980, "An Economic Analysis of Air Pollution from Coal-Fired Power Plants", Journal of Environmental Economics and Management, 30-43 p.

67. Waddell, T., 1974, The Economic Damages of Air Pollution, EPA-600/5-74-002, Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

68. National Academy of Sciences, 1974, Air Quality and Stationary Source Emission Control, Prepared for Committee on Public Works, U.S. Senate, Washington, D.C.

69. Lave, L.B. and E.P. Seskin, 1973, "An Analysis of the Association Between U.S. Mortality and Air Pollution", Journal of American Statistical Association, 68, 284-90 p.

70. Lave, L.B. and E.P. Seskin, August 21, 1970, "Air Pollution and Human Health", Science, Vol. 69, 723-733 p.

71. Schwing, R.C., B.W. Southworth, C.R. von Bueseck and C.J. Jackson, 1980, "Benefit-Cost Analysis of Automotive Emission Reduction", Journal of Environmental Economics and Management, 7 , 44-64 p.

72. Faiz, A., 1985, Life Cycle Cost Analysis of Pavements-Case Study, The World Bank, Washington, D.C.

73. Abelson, P.W. and S.D.J. Flowerdew, 1975, "Models for the Economic Evaluation of Road Maintenance", Journal of Transport Economics and Policy, 93-114 p.

74. Markow, J.J., 1990, "Life-Cycle Cost Evaluations of the Effects of Pavement Maintenance", in Transportation Research Record 1276: Maintenance, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 37-47 p.

75. Winfrey, R. and C. Zellner, 1971, National Cooperative Highway Research Program Report 122: Summary and Evaluation of Economic Consequences of Highway Improvements, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

76. Reynolds, D.J., 1956, "The Cost of Road Accidents", Journal of Royal Statistical Society, Series A, 393-408 p.

77. Dawson, R.F.F., 1968, "The Economic Assessment of Road Improvement Schemes", Road Research Technical Paper No. 75, HMSO, London, England

78. Highway Capacity Manual, Special Report 209, 1985, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

79. Ben-Akiva, M. and D. Gopinath, March 1995, "Modeling Infrastructure Performance and User Costs", Journal of Infrastructure Systems, 33-43 p.

80. Uddin, W. and K.P. George, 1973, "User Cost Methodology for Investment Planning and Maintenance: Management of Roads and Highways", Transportation Research Record 1395: Finance, Taxation, Pricing, Economic Analysis, Socioeconomics, Education and Management, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 65-72 p.

81. Highway Operations: Progress and Product Update, 1991, Strategic Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

82. Davis, C.F. and C.P. Van Dine, 1988, "Linear Programming Model for Pavement Management", Transportation Research Record 1200, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 71-75 p.

83. Benekohal, R.F. et al., 1992, "Speed Reduction Patterns of Vehicles in a Highway Construction Zone", Paper presented at the Transportation Research Board's 71st Annual Meeting, Washington, D.C.

84. Cassidy, M.J. and L.D. Han, 1992, "Prediction Vehicle Delays & Queue Lengths on Two-Lane Highways During Maintenance Activity", Paper presented at the Transportation Research Board's 71st Annual Meeting, Washington, D.C.

85. Memmott, J.L. and C.L. Dudek, 1984, "Queue and User Cost Evaluation of Work Zones", Transportation Research Record 979, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

86. Morales, J., 1986, "Analytical Procedures for Estimating Freeway Traffic Congestion, ITE Journal, Vol. 57, No. 1, 45-49 p.

87. Rouphail, N., 1984, FREQAY/SIGNAL, McTrans Center, University of Florida, Gainesville

88. Zhang, J., L. Leiman and A. May, 1989, "Evaluation of Operational Effects of Freeway Reconstruction Activities", Transportation Research Record 1232, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 27-39 p.

89. Seshadri. P., H. de Solminihac and R. Harrison, 1993, "Modification of QUEWZ Model to Estimate Fuel Costs and Tailpipe Emissions", Transportation Research Record 1395, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

90. Peterson, D.E., December 1985, Life-Cycle Cost Analysis Pavements, NCHRP Synthesis of Highway Practice 122, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

91 Chien-Hung, W. and P. Schonfeld, December 1992, The Combined Cost of Highway Maintenance and Traffic Operations, Maryland Department of Transportation, Baltimore, 85 p.