



La taxe sur l'essence et internalisation des coûts sociaux des véhicules légers au Québec

Mémoire

Jérémie Dorval

Maîtrise en économique
Maître ès arts (M.A.)

Québec, Canada

© Jérémie Dorval, 2015

La taxe sur l'essence et internalisation des coûts sociaux des véhicules légers au Québec

Mémoire

Jérémie Dorval

Sous la direction de :

Philippe Barla, directeur de recherche

Paul Lanoie, codirecteur de recherche

Résumé

L'utilisation des véhicules légers crée plusieurs externalités qui sont supportées par la société. Qu'elles soient liées à la congestion, aux accidents de la route, à la pollution locale ou au réchauffement global, ces externalités engendrent une défaillance du marché puisque les automobilistes ne supportent pas la totalité des coûts qu'ils génèrent. Pour pallier à cette lacune, ce mémoire propose d'utiliser la taxe sur l'essence, comme solution de second rang, afin d'internaliser les coûts sociaux.

Nos résultats suggèrent que la taxe d'accise actuelle de 0,292\$/L est suffisante pour internaliser les coûts externes présents en milieu non-urbain, soit ceux liés aux accidents, à la pollution locale et au réchauffement global. Cependant, il faudrait l'augmenter à 1,53\$/L dans la Région Métropolitaine de Recensement de Montréal et à 1,18\$/L dans celle de Québec afin d'internaliser également les coûts externes de congestion. Ces ajustements permettraient de réaliser un gain de bien-être de 824,7 M\$ pour le Québec et généreraient des revenus additionnels pour l'État de plus de 2,5 G\$.

Abstract

The use of light duty vehicle is responsible for many externalities borne by society. Either they are due to congestion, road accident, local pollution or global warming, there is disequilibrium because car users do not support the entire cost of driving. To address this loophole, this master's thesis suggests the use of gasoline tax, as a second best solution, to internalize these social costs.

Our results suggest that the actual excise tax of 0.292\$/L is appropriate to internalize the externalities into non-urban areas, which are related to road accident, local pollution and global warming. However, they suggest that the actual excise tax should be higher to internalize the external cost of congestion in urban areas. In fact, the excise tax in the Census Metropolitan Area of Montréal and Québec should be 1.53\$/L and 1.18\$/L respectively. These adjustments could create a welfare gain of 824.7M\$ for the Province of Québec with an increase in tax revenues of over 2.5G\$.

Table des matières

Résumé	iii
Abstract.....	iv
Table des matières	v
Liste des tableaux.....	vii
Liste des figures.....	viii
Liste des abréviations	ix
Remerciements.....	xi
1 - Introduction.....	1
2 – La taxe sur l'essence au Québec.....	5
3 - Revue de la littérature.....	7
3.1 – La taxe optimale de l'essence : analyse théorique	7
3.2 – Les évaluations existantes	12
3.3 – Les externalités engendrées par les véhicules légers	16
3.3.1 - Congestion	16
3.3.2 - Accidents	21
3.3.3 - Pollution atmosphérique locale	23
3.3.4 - Réchauffement global.....	24
4 – Calibration du modèle dans le contexte québécois.....	26
4.1 – Congestion	26
4.2 – Accidents.....	31
4.3 – Pollution atmosphérique locale.....	34
4.4 – Réchauffement global	35
4.5 – Élasticités	35
4.6 – Autres paramètres	37
5 – Résultats	38
5.1 – Scénario central	38
5.1.1 – Taxe pigouvienne	38
5.1.2 – Gain de bien-être	39
5.2 – Analyse de sensibilité	40
5.3 – Comparaison avec d'autres études	43
5.4 – Implications pour les politiques publiques	45

6 - Conclusion	49
Bibliographie	51
Annexes	54
A1 – Autres tableaux	54
A2 - Ajustement de la congestion au niveau V^*	56
A3 - Valeur de la vie humaine et valeur du temps	58

Liste des tableaux

Tableau 1 : Taux de taxation de l'essence au Québec	5
Tableau 2 : Résultats principaux de Parry et Small (2005) (en ¢/L dollar US de 2000).....	14
Tableau 3 : Sommaire des montants de taxes proposées (en ¢/L).....	16
Tableau 4 : Vitesses et temps de déplacement pour la RMR de Québec.....	27
Tableau 5: Motifs de déplacement et valeur du temps associé pour la RMR de Québec	29
Tableau 6: Vitesses et temps de déplacement pour la RMR de Montréal	29
Tableau 7: Motifs de déplacement et valeur du temps associé pour la RMR de Montréal.....	30
Tableau 8: Coûts des accidents selon la gravité (en M\$)	32
Tableau 9: Nombre d'accidents au Québec en 2013 selon la gravité par type d'usager	32
Tableau 10 : Coûts externes des accidents par type d'usager et niveau de gravité (en M\$)	33
Tableau 11 : Coûts liés à la pollution locale pour la province de Québec	34
Tableau 12 : Valeurs d'élasticités	37
Tableau 13 : Résultats du scénario central (\$/L).....	38
Tableau 14 : Analyse de sensibilité – paramètres	40
Tableau 15 : Analyse de sensibilité - élasticités.....	42
Tableau 16 : Données utilisées pour l'équation (2a) – scénario central.....	54
Tableau 17 : Analyse de sensibilité – effet sur les externalités	55
Tableau 18 : Paramètres pour l'ajustement du niveau de congestion.....	57

Liste des figures

Figure 1 : Gain de bien-être (W_G) de la taxe pigouvienne	12
Figure 2 : Relation entre la vitesse et le volume	18
Figure 3 : Coût de déplacement en fonction du volume	20
Figure 4 : Coût de faire le plein (50L).....	46

Liste des abréviations

AMC :	Association Médicale Canadienne
AMT :	Agence Métropolitaine des Transports
β :	Mesure l'impact d'un véhicule-kilomètre supplémentaire sur le temps de déplacement moyen
CAA :	Association canadienne des automobilistes
CAP :	Consentement à payer
CAR :	Consentement à recevoir
c^0 :	Coûts fixes de déplacement
Cm :	Coût marginal
CM :	Coût moyen
CO_2 :	Dioxyde de carbone
COV :	Composés organiques volatils
δ :	Proportion de l'élasticité de la demande d'essence liée à la distance parcourue
D	Demande de déplacement
el :	Écoulement libre
E_c :	Coût externe de congestion
ECMT :	European Conference of Ministers of Transport
g :	Taux de consommation des véhicules
\bar{G} :	Consommation d'essence totale
GES :	Gaz à effet de serre
GTHA :	Région du Grand Toronto et Hamilton
GOV :	Transferts gouvernementaux
I :	Revenu net
m :	Distance parcourue
\bar{M} :	Distance parcourue totale
η_M :	Élasticité-prix de la distance parcourue
η_g :	Élasticité-prix de la consommation d'essence des véhicules légers
η_G :	Élasticité-prix de la demande d'essence
MDDELCC :	Ministère du Développement Durable Environnement et Lutte contre les Changements Climatiques

MOTREM :	Modèle de transport de la région de Montréal
MTQ :	Ministère des Transports du Québec
NO _x :	Oxyde d'azote
O-D :	Origine Destination
OEE :	Office de l'efficacité énergétique
P_X :	Prix pour les dépenses générales
p_G :	Prix de l'essence avant taxe
PPAM :	Période de pointe d'avant-midi
PPPM :	Période de pointe d'après-midi
RdQ :	Reste du Québec
RMR :	Région Métropolitaine de Recensement
S :	Vitesse de déplacement
SAAQ :	Société de l'assurance automobile du Québec
T :	Temps de déplacement
t_G :	Taxe sur l'essence
TPS :	Taxe sur les produits et services
TVQ :	Taxe de vente du Québec
v :	Nombre de véhicules légers par ménage
VDT :	Valeur du temps
VVS :	Valeur de la vie statistique
W_G :	Gain de bien-être
WTP :	<i>Willingness to Pay</i>
X :	Consommation des autres biens que ceux reliés au véhicule

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Philippe Barla, mon directeur de recherche, pour sa rigueur et sa disponibilité. Ses conseils et suggestions m'ont grandement aidé tout au long du projet de recherche. Sans lui, ce travail n'aurait simplement pas eu lieu. Je remercie également Paul Lanoie, mon codirecteur, pour ses judicieux conseils.

Aussi, je remercie Jean-Pierre Paré, avec qui j'ai réalisé un stage pendant ma maîtrise, qui a fait preuve de patience et de confiance à mon égard. Je remercie Luis Miranda-Moreno et Amir Zahabi pour la réalisation des simulations routières.

De plus, je tiens à remercier l'Institut Hydro-Québec en environnement, développement et société (EDS) pour le support financier sans lequel il aurait été difficile d'étudier à plein temps.

Je remercie aussi ma conjointe, ma famille et mes amis qui m'ont tous soutenu dans ce retour aux études pour le moins audacieux. Finalement, je remercie mes collègues du programme de 2^e et 3^e cycles en économique de l'Université Laval qui ont rendu cette expérience de travail plaisante et enrichissante.

1 - Introduction

Bien que l'utilisation de l'automobile génère de nombreux bénéfices, elle engendre également des coûts sociaux qui ne sont pas payés par ceux qui les causent. En effet, même si les conducteurs assument plusieurs coûts (achat et location de leur voiture, entretien, réparation, essence, permis de conduire, assurances, etc.), les impacts générés par l'usage de l'automobile dépassent ces coûts privés. Il s'agit d'un problème classique d'externalité négative.

La recommandation traditionnelle est d'implanter des mesures qui internalisent le mieux possible les coûts externes. Dans le cas du transport routier, plusieurs instruments seraient nécessaires pour internaliser tous les coûts externes des véhicules légers. Par exemple, il faudrait combiner :

- pour la congestion, une tarification à l'usage en fonction du lieu et de l'heure des déplacements;
- pour les accidents, une prime d'assurance reliée au niveau de risque du conducteur;
- pour le réchauffement climatique, une taxe sur la quantité de carbone rejeté.

Cependant, la mise en place de ces différents instruments peut s'avérer complexe et coûteuse sans compter les nombreuses difficultés à prévoir sur le plan politique. À titre indicatif, les coûts de mise en œuvre du système de tarification de la congestion à Stockholm ont été évalués à plus de 290 M\$ (Eliasson, 2006).¹ Une alternative consiste à ajuster la taxe sur l'essence afin d'internaliser les coûts externes liés à l'usage de l'automobile. Il s'agit bien entendu d'une solution de second rang puisque la taxe sur l'essence n'envoie qu'un signal imparfait aux automobilistes.²

¹ Cette valeur est convertie en dollars canadiens de 2006 selon le taux annuel moyen de la Banque du Canada.

² Ainsi par exemple, la taxe sur l'essence n'a aucun effet sur l'horaire des déplacements ce qui est pourtant un élément crucial pour réduire la congestion.

L'objectif principal de ce mémoire consiste à calibrer **quelle devrait être la taxe sur l'essence au Québec afin d'internaliser les coûts externes engendrés par les véhicules légers**. Notre analyse prend en compte les coûts externes liés :

- à la congestion;
- aux accidents;
- à la pollution atmosphérique locale;
- au réchauffement global.

Nous évaluons ces coûts en termes monétaires à partir d'études et de données spécifiques au Québec. Nous dérivons ensuite le niveau de taxe qui permet d'internaliser ces coûts à l'aide de la formulation proposée par Parry (2009a). Cette taxe peut donc être qualifiée de « pigouvienne » même s'il ne permet pas d'atteindre la solution de premier rang.

Nous examinons deux situations différentes. Dans la première situation, nous établissons des taux de taxation spécifique pour la Région Métropolitaine de Recensement (RMR) de Montréal, celle de Québec et pour le reste de la province (RdQ). Cette distinction géographique se justifie principalement par des niveaux de congestion routière différents.

Par contre, l'application de taux de taxation très différents risque de ne pas être soutenable puisque les automobilistes des zones fortement taxées auraient intérêt à s'approvisionner dans des zones moins taxées (arbitrage). C'est pourquoi nous évaluons également une situation où un seul taux de taxation est imposé dans l'ensemble de la province. Pour chacune des deux situations, nous évaluons aussi l'impact sur le bien-être provoqué par ces ajustements de la taxe sur l'essence.

Une évaluation de la taxe optimale sur l'essence a été effectuée par Parry et al (2014) pour le Canada. Par contre, aucune analyse de ce type n'a été faite au niveau du Québec. Les contributions de ce mémoire sont donc d'évaluer la taxe

optimale pour l'ensemble du Québec et pour les trois zones géographiques analysées (RMR de Montréal, de Québec et le reste de la province). De plus, nous effectuons une évaluation des impacts sur le bien-être.

Nos résultats suggèrent que la taxe d'accise actuelle de 0,292\$/L est à un niveau adéquat si l'on ne tient pas compte de la congestion. En effet, le scénario central retenu indique que la taxe sur l'essence pour les régions du Québec qui ne subissent pas de congestion devrait être de 0,28\$/L. Par contre, ce résultat est bien différent pour les RMR de Montréal et de Québec qui eux subissent de la congestion.

Dans la RMR de Montréal, les coûts externes de congestion sont évalués à 1,26\$/L d'essence. Ainsi, pour internaliser les coûts sociaux, la taxe sur l'essence dans la RMR de Montréal devrait s'établir à 1,53\$/L. Une telle augmentation pourrait générer un gain de bien-être de 714,1 M\$ par an. Ce gain s'explique par la réduction des coûts externes et notamment par une réduction de près de 9% du niveau de congestion.

Dans une moindre mesure, la RMR de Québec serait également affectée par l'implantation d'une taxe sur l'essence pigouvienne. Suivant nos estimations, celle-ci devrait être portée à 1,18\$/L dont 0,90\$/L pour internaliser les coûts externes de congestion. Le gain de bien-être annuel est dans ce cas évalué à 110,4 M\$ avec notamment une réduction de 6,25% du niveau de congestion.

L'adoption de ces taux de taxation engendrerait donc potentiellement un gain de bien-être de 824,7 M\$ pour l'ensemble de la province. Nous évaluons que la consommation annuelle d'essence diminuerait de 1393 millions de litres soit une réduction de 16,3% par rapport aux ventes en 2013. Également, les revenus de la taxe d'accise provinciale et fédérale seraient presque doublés à 5145 M\$.

Bien que ces résultats soient théoriquement intéressants, sur le plan pratique, ces taux sont trop différents pour être soutenables. Les automobilistes des centres urbains auraient avantage à parcourir de longues distances pour faire le plein d'essence afin d'économiser ce qui pourrait à terme accroître la congestion. Pour cette raison, le cas de la taxe uniforme pour la province est intéressant.

La taxe uniformisée s'établirait à 0,72\$/L, soit près de 2,5 fois la taxe d'accise actuelle. Cette dernière procurerait potentiellement un gain de bien-être de 568,2 M\$ pour la province. L'analyse de sensibilité de nos résultats montre de manière robuste que la taxe d'accise actuelle est insuffisante pour répondre au principe d'internalisation des coûts sociaux, et ce, principalement à cause de l'ampleur des coûts externes de congestion. Une augmentation de la taxe sur l'essence semble donc justifiée au Québec si d'autres mesures de tarification de la congestion ne sont pas adoptées.

La suite de ce document s'articule comme suit. La section 2 présente une mise en contexte de la taxe sur l'essence au Québec. Dans la section 3, nous effectuons une revue de la littérature pertinente. Plus spécifiquement, nous présentons le modèle qui permet de dériver la taxe optimale, et nous revoyons les études qui ont calibré la taxe optimale dans différentes juridictions. Nous présentons également certains concepts clefs pour comprendre la procédure d'évaluation des différentes externalités. Les détails de la calibration dans le contexte québécois sont présentés à la section 4. Les résultats sont décrits à la section 5 et nos conclusions à la section 6.

2 – La taxe sur l'essence au Québec

Pour bien saisir les enjeux liés à la taxe sur l'essence, il faut d'abord comprendre le système de taxation actuel. Au Québec, la taxe payée sur chaque litre d'essence est composée d'une partie fixe, les taxes d'accises du gouvernement fédéral et provincial et d'une partie *ad valorem*, représentant la taxe sur les produits et services (TPS) et la taxe de vente du Québec (TVQ). Cette dernière se calcule sur le prix total incluant les taxes fixes. Une taxe supplémentaire de 0,03\$/L est perçue dans la RMR de Montréal pour financer l'Agence Métropolitaine des Transports (AMT). Le tableau 1 détaille les différentes composantes de la taxe sur l'essence.

Tableau 1 : Taux de taxation de l'essence au Québec

Type de taxe	Provinciale	Fédérale
Fixes	0,192\$/L +0,03\$/L (Montréal seulement)	0,10\$/L
Variables	9,975%	5%

Source : Ministère des Ressources Naturelles du Canada³

En 2014, le prix moyen à la pompe de l'essence ordinaire au Québec était de 1,342\$/L⁴. Le montant des taxes s'élevait donc à 0,467\$/L. Selon Statistique Canada⁵, en 2013 il s'est vendu près de 8,2 milliards de litres d'essence au Québec. Ainsi, les revenus annuels de la taxe sur l'essence (excluant la taxe spécifique de la région de Montréal) dépassaient 3,8 G\$. La taxe sur l'essence constitue donc une source de revenu significatif pour les gouvernements.

Dans ce mémoire, le taux de taxation que nous visons à calibrer concerne uniquement la partie fixe de la taxe sur l'essence soit la taxe d'accise. En d'autres termes, notre analyse ne touche ni la TPS et ni la TVQ qui sont des taxes générales sur les biens et services et dont les revenus servent à financer

³ Ministère des Ressources Naturelles du Canada. (2015, janvier). Info-Carburant, Revue annuelle – 2014. Consulté le 02 24, 2015, sur <http://www.rncan.gc.ca/>

⁴ La Régie de l'Énergie du Québec. (2014). Produits Pétroliers. Consulté le 02 22, 2015, sur <http://www.regie-energie.qc.ca/>

⁵ Statistique Canada. (2015). Essence et autres combustibles de pétrole vendus. Récupéré sur CANSIM, tableau 405-0002: <http://www.statcan.gc.ca/>

les activités de l'État. La taxe pigouvienne que nous visons à calculer est donc une taxe fixe, par litre d'essence.

La partie fixe de la taxe sur l'essence est présentement de 0,292\$/L dans la majorité des régions du Québec (à l'exception de quelques régions frontalières et la RMR de Montréal). Cette taxe a pour objectif principal de récolter des fonds publics et son niveau n'a pas été déterminé, à notre connaissance, sur la base d'une analyse économique explicite. Notre analyse permettra donc de déterminer si le taux actuel peut se justifier sur la base d'une logique d'internalisation des coûts sociaux et sinon comment l'ajuster pour répondre à ce principe.

3 - Revue de la littérature

L'analyse des externalités liées à l'utilisation des véhicules légers fait appel à plusieurs concepts économiques qui ont fait l'objet de nombreuses études. Ainsi par exemple, l'évaluation des coûts de la congestion fait appel à la littérature portant sur la « valeur du temps ». L'évaluation des coûts externes des accidents ou de la pollution de l'air utilisent les résultats des études sur l'évaluation de la valeur de la vie humaine.⁶ Il n'est pas possible, dans le cadre de ce mémoire, de faire une revue exhaustive de ces différentes recherches. Notre revue se limite donc à revoir les concepts et les études qui sont les plus pertinents pour notre analyse.

Dans un premier temps, nous présentons le modèle théorique qui permet de dériver la taxe optimale sur l'essence. Nous poursuivons avec un survol d'études qui ont calibré la taxe optimale sur l'essence dans différents contextes. Finalement, nous présentons brièvement, pour chacune des externalités évaluées, les concepts de base qui nous seront utiles dans la suite de ce mémoire.

3.1 – La taxe optimale de l'essence : analyse théorique

L'objectif principal de ce mémoire est d'évaluer la taxe pigouvienne sur l'essence au Québec. Pour y parvenir, notre analyse se base sur le modèle théorique développé dans Parry (2009a). Il s'agit d'un modèle en économie fermée avec deux types d'agents, l'État et des consommateurs. Le modèle comprend deux étapes : à la première étape, le gouvernement détermine le taux de taxe qui maximise le bien-être total en anticipant la réaction des consommateurs à la deuxième étape. Les consommateurs sont supposés identiques, ce qui permet de formaliser leur comportement à travers la maximisation d'une fonction d'utilité d'un individu représentatif sous une contrainte budgétaire. Plus spécifiquement, le programme d'optimisation de l'agent représentatif a la forme suivante :

⁶ Les principales méthodes d'évaluation pour la valeur du temps et de la vie sont présentées à l'annexe A3.

$$\max_{m,v,g,X} u(v, m, X, E_g(\bar{G}), E_M(\bar{M}))$$

sous la contrainte budgétaire: (1)

$$I + GOV = [(p_G + t_G)gm + c(g)]v + p_x X.$$

Les variables de choix sont la distance parcourue en voiture (m), le taux de consommation des véhicules (g) en litres par km, le nombre de véhicules par ménage (v) ainsi que la consommation des autres biens (X). L'utilité est affectée négativement par les externalités causées par l'usage des véhicules. $E_g(\bar{G})$ représente les externalités directement causées par la consommation totale d'essence \bar{G} soit, dans notre analyse, le réchauffement global. $E_M(\bar{M})$ représente les externalités liées à la distance totale parcourue par les véhicules \bar{M} (accidents, congestion et pollution locale).⁷ Dans sa prise de décision, l'individu ignore l'impact de ses choix sur les autres. En d'autres termes, il considère \bar{G} et \bar{M} comme exogène.

Au niveau de la contrainte budgétaire, le ménage doit respecter son budget constitué de son revenu net (I) et des transferts gouvernementaux (GOV) pour payer ses dépenses générales ($P_x X$) et celles reliées à son véhicule. Ces dernières ont deux parties :

- i. les coûts variables $(p_G + t_G)gm$ avec p_G le prix de l'essence avant taxe et t_G la taxe sur l'essence;
- ii. les coûts fixes $c(g)$ qui représentent les coûts associés à la possession d'une voiture (i.e. achat, entretien, réparations).

⁷ Comme nous l'expliquerons plus en détail à la section 3.3.3, la pollution atmosphérique causée par les véhicules légers est davantage liée à la distance parcourue qu'à la quantité consommée d'essence.

Ces coûts sont ensuite multipliés par le nombre moyen de voitures par ménage (v). Cette valeur est considérée continue puisqu'il s'agit d'un individu représentatif.

La résolution du problème d'optimisation (1) mène à une solution où chaque variable de choix dépend des prix et de la taxe sur l'essence. Ainsi, anticipant le comportement des consommateurs, le gouvernement choisit le taux de taxation qui internalise les coûts sociaux liés à l'utilisation des véhicules légers. Une fois le problème d'optimisation résolu (voir l'annexe de Parry,2009a pour la dérivation), la taxe pigouvienne sur l'essence est déterminée par la fonction implicite suivante :

$$t_G = e_G + \frac{\delta(e_M)}{g} \quad (2a)$$

avec :

$$e_G = -u_{E_G} E'_G / \lambda^8 \quad (2b)$$

$$e_M = -u_{E_M} E'_M / \lambda \quad (2c)$$

$$\delta = \frac{g * dM/dt_G}{dG/dt_G} . \quad (2d)$$

La taxe pigouvienne est composée de deux éléments, soit e_G et e_M . Le premier terme est le coût marginal externe lié à la consommation d'essence (en \$/L) soit celui relié au réchauffement global. Le deuxième terme représente le coût marginal des externalités qui dépendent de la distance parcourue. Ce coût est donc exprimé en \$/km. Comme la taxe est en \$/L, il faut déterminer comment ce coût évolue en fonction de la consommation de carburant. Cette transformation implique d'abord g qui convertit les unités du coût en \$/L. Elle implique aussi le

⁸ Les paramètres λ et u représentent respectivement le multiplicateur de Lagrange et la dérivée totale de la fonction d'utilité.

coefficient δ qui mesure l'impact de la taxe sur l'essence sur la distance parcourue. En effet, face à une augmentation du prix de l'essence, l'automobiliste peut soit réduire l'usage ou choisir un véhicule plus efficace. La taxe sur l'essence ne sera efficace pour réduire l'externalité que dans la mesure où elle réduit l'usage. Ainsi par exemple, si la hausse de la taxe sur l'essence n'affectait que le choix de véhicule, δ serait 0 et la taxe sur l'essence n'aurait aucun impact sur les externalités liées à l'usage de sorte que cette composante de la taxe serait nulle.

La calibration de ce modèle nécessite d'évaluer chaque externalité séparément. Les coûts liés à la congestion, les accidents et la pollution locale se calculent en \$/km, alors que ceux engendrés par les émissions de gaz à effet de serre (GES) s'expriment en \$/L d'essence. Pour ce faire, nous utiliserons des valeurs proposées par la littérature ainsi que des statistiques québécoises. La section 3.3 présente plus en détail ces différentes externalités et comment elles peuvent être évaluées.

Contrairement à Parry (2009a), nous avons décidé de ne pas prendre en compte l'externalité liée à la dépendance au pétrole. Cette externalité provient principalement de l'exposition au risque de fluctuation du marché du pétrole mondial (Parry, 2009a). Bien qu'il y ait probablement un coût associé à cette dépendance énergétique, son évaluation est complexe puisqu'elle exige notamment de prévoir les prix futurs du pétrole. De plus, à notre connaissance, aucune évaluation spécifique n'a été réalisée pour le Québec.

Une fois le taux de taxe pigouien établi, il faut prévoir l'ajustement du comportement des consommateurs. Soit par une réduction de distance parcourue (M), soit par le choix d'un véhicule plus éco énergétique (g). Pour évaluer la réduction de la consommation d'essence et le gain de bien-être (W_G) qui en résulte, Parry (2009a) utilise les formes fonctionnelles suivantes :

$$\frac{M}{M^0} = \left(\frac{p_G + t_G}{p_G + t_G^0} \right)^{\eta_M} \quad (3)$$

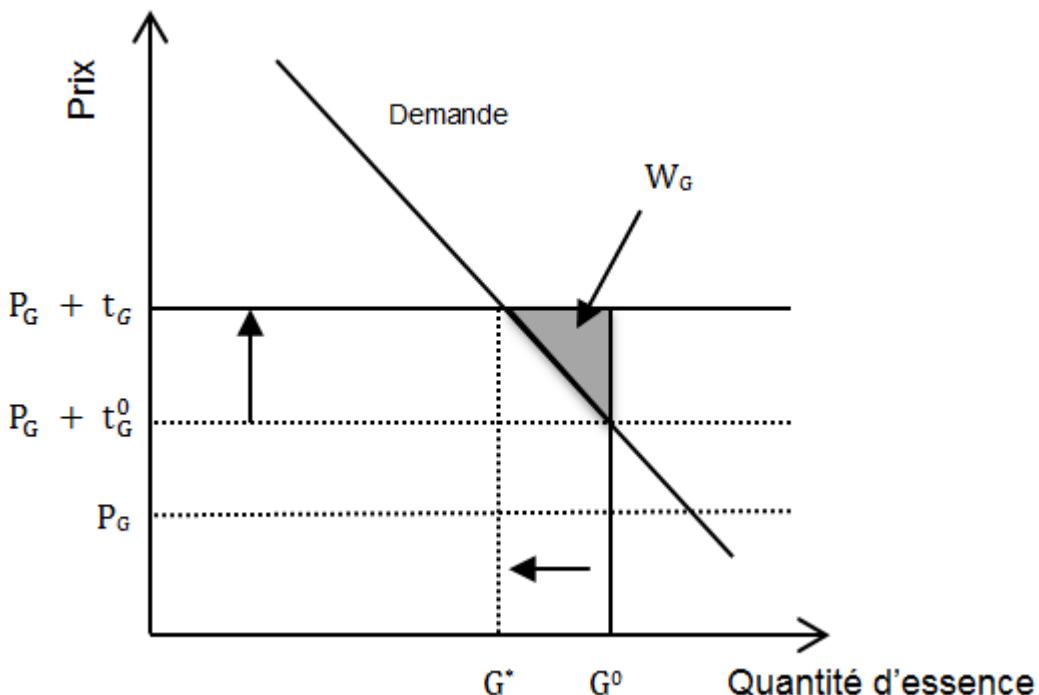
$$\frac{g}{g^0} = \left(\frac{p_G + t_G}{p_G + t_G^0} \right)^{\eta_g}. \quad (4)$$

L'exposant 0 désigne les valeurs initiales. η_M et η_g dénotent respectivement l'élasticité de la distance parcourue et de la consommation d'essence par rapport au prix de l'essence. La somme de ces deux paramètres correspond à l'élasticité-prix de la demande d'essence (η_G).

Le gain de bien-être engendré par l'ajustement de la taxe peut-être évalué à partir de l'équation 5 et approximé par l'espace ombragé dans la figure 1.

$$W_G = \int_{t_G^0}^{t_G} (t_G - t_G^0) \frac{dG}{dt_G} dt_G. \quad (5)$$

Figure 1 : Gain de bien-être (W_G) de la taxe pigouvienne⁹



Source : Parry (2009a)

3.2 – Les évaluations existantes

Afin d'évaluer la taxe qui internalise les coûts sociaux des véhicules légers au Québec, il est utile de survoler des recherches similaires effectuées dans d'autres juridictions. Cette sous-section de la revue de littérature se concentre sur les études qui calculent explicitement la taxe « optimale » sur l'essence. Elles sont présentées par ordre chronologique pour visualiser l'évolution.

En 2000, les taux de taxation sur l'essence aux États-Unis et au Royaume-Uni étaient respectivement de 10,6¢/L et 74,0¢/L. C'est un écart pour le moins significatif pour deux économies développées. C'est ce qui a amené Parry et Small (2004 et 2005) à s'interroger sur lequel des deux pays avait le « bon » taux de taxation. Ces auteurs sont les premiers à dériver le taux « optimal » de taxe

⁹ L'illustration présente le cas où la taxe proposée serait plus élevée que la taxe actuelle. Dans le cas inverse, la réaction est opposée et le gain de bien-être est l'aire du triangle sous la courbe de demande et non au-dessus.

sur l'essence sur la base d'un modèle théorique qui est plus complexe que celui que nous avons détaillé précédemment. Dans leur analyse, le taux optimal comprend trois composantes, à savoir :

- i) la composante pigouvienne;
- ii) la composante de Ramsey;
- iii) un terme de rétroaction.

La composante pigouvienne est la partie de la taxe qui permet d'internaliser les externalités. C'est cette section de leur travail qui nous intéresse particulièrement puisque c'est celle que nous évaluons dans ce mémoire. Dans le cas du système routier, ils retiennent les externalités liées à la congestion, aux accidents, à la pollution locale, au réchauffement global, à la pollution par le bruit et à l'usure des infrastructures.¹⁰ Pour évaluer ces externalités, les auteurs effectuent une calibration basée sur les valeurs de paramètres obtenus dans d'autres études. La composante pigouvienne domine les deux autres puisqu'elle représente pour les États-Unis et le Royaume-Uni, plus de 73% du taux de taxe total.

La composante de Ramsey est liée au principe général de la taxation optimale (Ramsey, 1927) selon lequel il faut, pour récolter des fonds publics avec le moins de distorsions possibles, taxer davantage les biens dont élasticité-prix est faible. L'essence étant un bien faiblement élastique, la composante de Ramsey est relativement importante atteignant 25,8% et 17,2% de la taxe totale pour les États-Unis et le Royaume-Uni respectivement.

Finalement, l'effet de rétroaction est lié à l'impact des deux autres composantes sur le niveau de congestion. En effet, en taxant l'essence, la demande de déplacement diminue et ainsi la congestion. Cette baisse de la congestion peut en retour provoquer un accroissement du trafic. Cette composante vise à tenir compte de cet effet de rétroaction. Elle est faible pour les États-Unis (1,0%) et un peu plus élevée pour le Royaume-Uni (5,2%).

¹⁰ Les externalités liées au bruit et à l'usure des infrastructures sont essentiellement attribuables aux véhicules lourds de sorte qu'elles seront laissées de côté dans ce mémoire.

Les résultats de leur étude ont démontré que les conducteurs des États-Unis ne payaient pas assez de taxe sur l'essence, alors que ceux du Royaume-Uni en payaient trop. Ils suggèrent des valeurs centrales de 26,68¢/L aux États-Unis et 35,40¢/L au Royaume-Uni pour l'année 2000. La différence entre les deux taxes proposées est principalement due au niveau de congestion plus élevé au Royaume-Uni. Le tableau 2 détaille les principaux résultats de cette étude.

Tableau 2 : Résultats principaux de Parry et Small (2005) (en ¢/L dollar US de 2000)

Taxe en application	États-Unis	Royaume-Uni
Composante pigouvienne	19,55	27,47
<i>Congestion</i>	7,66	16,11
<i>Accidents</i>	6,34	5,55
<i>Réchauffement global</i>	1,32	1,32
<i>Pollution locale</i>	4,23	4,49
Composante de Ramsey	6,87	6,08
Effet de rétroaction	0,26	1,85
Taxe optimale	26,68	35,40

Source : Parry et Small (2005)

Quelques années plus tard, Parry (2009a) propose des modifications pour l'évaluation de la taxe pigouvienne sur l'essence aux États-Unis. En se basant sur les travaux de Parry et Small (2005), il développe un modèle théorique un peu révisé qu'il calibre sur des données actualisées. C'est sur ce modèle que se base notre analyse. En comparaison avec les résultats de Parry et Small (2005) qui utilisaient des données de 2000, Parry (2009a) utilise des données de 2007. L'augmentation du nombre de véhicules sur les routes a engendré une hausse du niveau de congestion et du coût externe des accidents. C'est principalement ce qui explique que la nouvelle proposition est plus élevée à 32,49¢/L relativement à 23,54¢/L en 2000 pour la composante pigouvienne ajustée en dollars américains de 2007.¹¹

Ces travaux de Parry et Small (2005) et Parry (2009a) ont ensuite inspiré d'autres études qui ont calculé la taxe optimale pour des régions plus spécifiques. Lin et Prince (2009) proposent une taxe sur l'essence pour la Californie s'élevant à 41¢/L dont 25¢/L en dollars américains de 2006 pour la

¹¹ Ajustement selon l'IPC aux États-Unis de 2000 à 2007.

composante pigouvienne. De leur côté, Parry et Strand (2012) ont appliqué le modèle de Parry (2009a) au Chili. Ils obtiennent une taxe pigouvienne sur l'essence de 55¢/L, également en dollars américains de 2006. Deux facteurs expliqueraient ce taux de taxe élevé :

- un nombre important d'accidents impliquant des piétons qui sont considérés entièrement comme des coûts externes;
- des problèmes de congestion importants.

Finalement, deux travaux ont évalué le taux de taxation optimal sur l'essence dans un contexte canadien. Parry et *al.* (2014) dérivent une taxe sur l'essence pigouvienne de 59,95¢/L en dollars canadiens de 2013 en utilisant des données agrégées sur l'ensemble du pays.¹² Wood (2014) effectue une analyse pour la région du Grand Toronto et de Hamilton (GTHA). Il obtient un taux de taxe sur l'essence de 55,08¢/L dont 45,62¢/L pour internaliser les coûts sociaux des véhicules légers. L'autre portion sert principalement à intégrer la composante de Ramsey.

Sur base de ces résultats, il semble que la taxe d'accise actuelle de 29,2¢/L au Québec est probablement insuffisante pour internaliser les coûts sociaux des véhicules légers. Le tableau 3 résume les différentes taxes proposées ainsi que les composantes utilisées. Bien que les trois composantes soient présentées dans ce tableau, seule la taxe pigouvienne fait l'objet de ce mémoire.

¹² Pour la suite du mémoire, les valeurs sont présentées en dollars canadiens de 2013 sauf avis contraire. Les valeurs sont d'abord converties en dollars canadiens selon le taux de change de la Banque du Canada de l'année en question. Ensuite, elles sont ajustées en 2013 selon l'IPC de la Banque du Canada.

Tableau 3 : Sommaire des montants de taxes proposées (en ¢/L)

Lieu	Auteurs	Pigouvienne	Composantes Ramsey	Rétroaction	Total
États-Unis	Parry et Small (2005)	37,39	13,14	0,50	51,03
	Parry (2009a)	38,38	14,98	-	53,36
	Parry et al (2014)	46,88	-	-	46,88
Californie	Lin et Prince (2009)	28,61	17,50	0,00	46,11
Chili	Parry et Strand (2012)	79,09	-	-	79,09
Royaume-Uni	Parry et Small (2005)	52,55	11,62	3,54	67,71
Canada	Parry et al (2014)	59,95	-	-	59,95
Toronto-Hamilton	Wood (2014)	45,62	8,91	0,55	55,08

3.3 – Les externalités engendrées par les véhicules légers

Dans cette sous-section, nous présentons brièvement les concepts clefs qui permettent de comprendre et de quantifier adéquatement chacune des externalités étudiées dans ce mémoire.

3.3.1 - Congestion

Les coûts externes de congestion représentent l'externalité la plus importante dans le système routier. Par exemple, Parry et Small (2005) évaluent à 39% et 59% la proportion de la taxe pigouvienne attribuée à la congestion pour les États-Unis et le Royaume-Uni respectivement.

Dans le cadre de notre analyse, nous nous intéressons aux RMR de Montréal et de Québec pour le calcul de la congestion. Pour le reste de la province, elle sera considérée négligeable. Il est possible d'avoir un aperçu de l'ampleur des coûts dans les RMR en se référant à des études existantes.

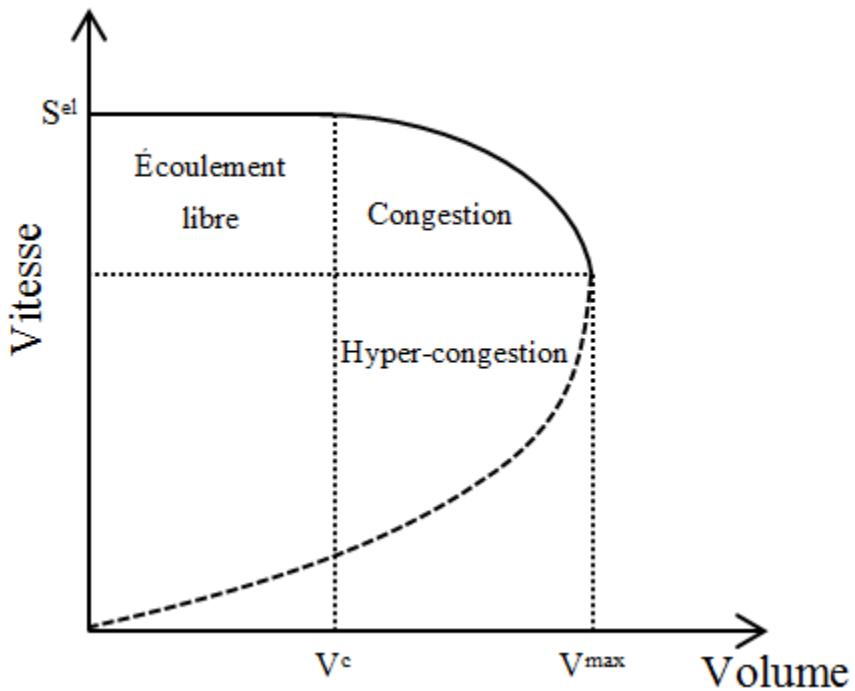
Pour la RMR de Montréal, une étude commandée par le ministère des Transports du Québec (MTQ) a été réalisée en 2009 par Les Conseillers ADEC inc. Ils ont utilisé les données de l'enquête Origine-Destination (O-D) de 2003.

Les coûts de congestion totaux ont ainsi été évalués à 1,423 G\$ en dollars canadiens de 2003. Pour la RMR de Québec, une étude réalisée par Transports Canada en 2006 évaluait les coûts de congestion totaux à 52,3 M\$ en dollars canadiens de 2002.

Plus de 87 % de ces coûts proviennent de la perte de temps occasionnée par la congestion. Le reste des coûts découle essentiellement de la consommation d'essence supplémentaire, des émissions de GES additionnelles et de l'augmentation du coût de l'utilisation des véhicules causée par le ralentissement des déplacements. Les émissions de GES seront considérées dans les externalités liées au réchauffement global. De ce fait, nous nous concentrerons dans cette section uniquement sur le coût lié à la perte de temps.

Pour visualiser cette perte de temps, il faut préalablement comprendre la relation entre le volume de trafic (V) et la vitesse des déplacements (S en km/h). Le volume sur une route est le nombre de véhicules qui circulent en une heure sur un tronçon d'un kilomètre (vkm/h). Les évidences empiriques (voir par exemple Small et Verhoef, 2007) montrent que la vitesse et le volume sur une route sont liés à travers une relation non linéaire tel qu'illustré à la figure 2.

Figure 2 : Relation entre la vitesse et le volume



Sur le trait plein, nous voyons qu'avant d'atteindre un certain volume (V^C), l'ajout d'un véhicule-kilomètre supplémentaire n'a aucun impact sur les autres usagers. Ainsi, les déplacements ont lieu à la vitesse d'écoulement libre (S^{el}). Une fois ce seuil atteint, le phénomène de congestion apparaît de sorte que l'accroissement du volume provoque une réduction de la vitesse de déplacement (S). C'est cette phase de congestion qui nous intéresse. Mentionnons aussi, pour être complet, que lorsque la capacité maximale est atteinte (V^{max}) se développe un phénomène d'hypercongestion caractérisé par une réduction conjointe du volume et de la vitesse (trait pointillé). Nous ne nous intéressons pas à cette phase car elle est caractérisée par de l'instabilité et reste encore largement mal comprise.

La réduction de la vitesse causée par la congestion provoque un accroissement du temps de déplacement (T) puisque ces deux variables sont inversement proportionnelles. En effet,

$$S = \frac{1}{T} \quad \text{et} \quad S^{el} = \frac{1}{T^{el}}. \quad (6)$$

Cela signifie qu'avant d'atteindre V^C , le temps de déplacement est constant à T^{el} , soit sa valeur en écoulement libre. Par contre, une fois V^C atteint, le temps de déplacement augmente avec chaque véhicule-kilomètre supplémentaire de sorte que $T > T^{el}$. Ainsi, l'écart entre le temps réel et le temps en écoulement libre est un coût subi par chaque véhicule.

Pour quantifier ce coût pour l'ensemble des véhicules, nous procédons suivant Parry et al (2014) en multipliant le retard moyen par le nombre de véhicules (V), le nombre d'occupants moyen (o) et la valeur du temps moyenne (VDT) :¹³

$$CT = V * (T[V] - T^{el}) * o * VDT. \quad (7)$$

Cette équation du coût total (CT) nous permet de calculer le coût moyen (CM) et le coût marginal (Cm). Le coût moyen est le coût effectivement supporté par l'automobiliste, il s'agit donc du coût privé (internalisé). Nous l'obtenons en divisant l'équation (7) par le volume :

$$CM = (T[V] - T^{el}) * o * VDT. \quad (8)$$

Le coût marginal s'obtient en dérivant l'équation 7 par V . Il mesure l'augmentation du coût total pour tous les usagers d'un véhicule-kilomètre supplémentaire. Il représente la somme du coût moyen et du coût marginal externe (E_C) :

$$Cm = \frac{dCT}{dV} = CM + \frac{dT}{dV} * V * o * VDT \quad (9)$$

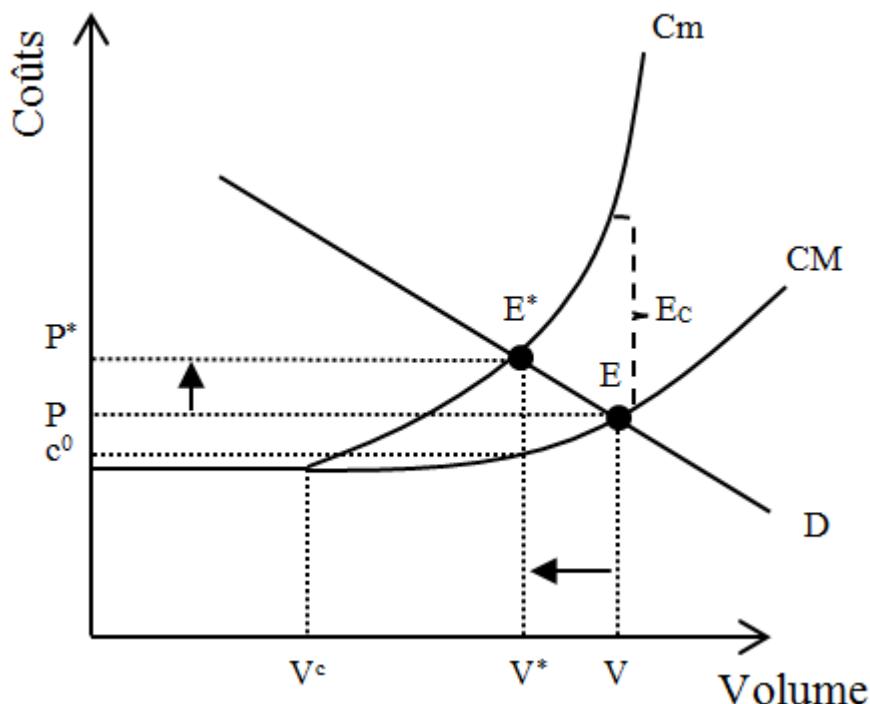
$$Cm = CM + E_C. \quad (10)$$

¹³ Les principales méthodes d'évaluation de la VDT sont présentées en annexe.

Où E_C mesure, en termes monétaires, la perte de temps causée par le véhicule supplémentaire à l'ensemble des autres usagers.

La figure 3 illustre la relation entre le coût moyen et le coût marginal et introduit la demande de déplacement (D) qui est décroissante avec les coûts.

Figure 3 : Coût de déplacement en fonction du volume



Source : McCarthy (2001)

Tel que discuté précédemment, avant l'atteinte du niveau V^c , l'ajout d'un véhicule-kilomètre supplémentaire n'augmente pas le temps de déplacement ni le coût des autres usagers (i.e. il n'y a pas de congestion, $CM = Cm$). Cependant, une fois le seuil V^c dépassé, il y a suffisamment d'interactions entre les véhicules pour que l'ajout d'un véhicule-kilomètre supplémentaire crée de la congestion (i.e. un écart entre le coût marginal et le coût moyen du déplacement, $Cm > CM$).

Puisque les conducteurs sous-estiment les coûts de déplacement en ne considérant que le coût moyen, l'équilibre est non optimal au point E . Si le

conducteur assumait le coût social de sa décision et payait P^* au lieu de P , il y aurait un équilibre optimal à E^* . La taxe qui internalise les coûts de congestion est donc ($P^* - c^0$) et permet d'induire le niveau optimal de débit à V^* .

Pour parvenir à évaluer le coût marginal externe de congestion, il est utile d'imposer une forme fonctionnelle à la relation entre le volume et le temps de déplacement réel. Le temps de déplacement réel est une sommation entre le temps de déplacement en écoulement libre (T^{el}) et du délai suivant la forme suivante :

$$T = T^{el} + \alpha V^\beta. \quad (11)$$

Cette équation, utilisée par Parry et al (2014), est fonction d'un paramètre α qui dépend de la capacité de la route, du volume et de β qui mesure l'impact d'un véhicule-kilomètre supplémentaire sur le temps de déplacement moyen. En différenciant par rapport à V , il est possible de mesurer l'effet marginal :

$$\frac{dT}{dV} * V = (T - T^{el}) * \beta. \quad (12)$$

Finalement, pour obtenir E_C , il faut multiplier (12) par le nombre moyen d'occupants et la valeur moyenne du temps :

$$E_c = (T - T^{el}) * o * VDT * \beta = CM * \beta. \quad (13)$$

Ainsi avec cette forme fonctionnelle, le coût externe n'est rien d'autre que le coût moyen multiplié par le paramètre β .

3.3.2 - Accidents

Après les externalités liées à la congestion, celles liées aux accidents de la route sont les plus élevées. À elles seules, elles représentent 33% de la taxe pigouvienne proposée pour les États-Unis (Parry et Small, 2005 et Parry, 2009a). Ce coût est principalement causé par la perte de vie humaine et les blessures subies, qu'elles soient graves ou légères (Lindberg, 2005).¹⁴

¹⁴ Les principales méthodes pour évaluer la valeur de la vie statistique sont présentées en annexe.

Évaluer le coût marginal externe des accidents comporte deux défis de taille. Premièrement, il est difficile de déterminer quelle partie du coût des accidents est externe. En effet, bien que l'estimation des coûts des accidents soit couramment effectuée, il est complexe de déterminer quelle proportion des coûts est déjà internalisée par le conducteur et quelle proportion est supportée par la société.

Deuxièmement, des interrogations persistent dans l'évaluation de l'aspect marginal de ces coûts à savoir combien l'ajout d'un véhicule-kilomètre supplémentaire affecte le coût des accidents des autres usagers. Généralement, plus il y a un niveau élevé de circulation, plus le risque de collisions est élevé (Lindberg, 2005). Par contre, tel qu'expliqué précédemment, l'augmentation du volume de trafic entraîne une réduction de la vitesse moyenne de déplacement, et ainsi, une réduction de la gravité des accidents. Pour cette raison, l'effet d'un véhicule-kilomètre supplémentaire sur le coût des accidents est ambigu.

Pour tenir compte de ces difficultés, nous utilisons les hypothèses de Parry et *al* (2014) :

- les coûts associés aux accidents subis par les piétons et cyclistes sont entièrement externes;
- les coûts découlant des accidents impliquant une seule voiture sont totalement internes. Ceci découle de l'hypothèse que les conducteurs sont conscients de leur propre exposition au risque ainsi que celle de leurs passagers;
- les coûts engendrés par un accident impliquant plusieurs voitures sont considérés à 25% comme externes. Ce pourcentage peut être justifié comme étant une valeur intermédiaire entre deux visions distinctes. La première est qu'une voiture est responsable de l'accident, alors que les autres véhicules impliqués sont des victimes. Dans ce cas, 50% des coûts sont considérés externes. L'autre vision se base sur l'hypothèse que tous les coûts impliquant des véhicules doivent être considérés comme internalisés. Selon cette alternative, il n'y a pas d'externalité car l'ajout d'un véhicule-kilomètre n'a aucun impact sur le coût externe des accidents

impliquant plusieurs voitures. L'idée est que le risque supplémentaire d'accident qu'il provoque est entièrement compensé par la réduction de la vitesse. Ces deux visions serviront à l'analyse de sensibilité.

3.3.3 - Pollution atmosphérique locale

La pollution locale survient suite aux émissions de polluants atmosphériques tel que l'oxyde d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV). Ils sont majoritairement produits par les véhicules routiers. En effet, Gagnon et Pineau (2012) estiment que ces derniers produisent 60 % de ces émissions polluantes au Québec.

L'oxyde d'azote et les composés organiques volatils sont des composantes qui créent le smog. Cette pollution affecte directement la qualité de vie de la population. Par exemple, elle peut causer des troubles respiratoires à certains citoyens plus vulnérables. Ainsi, la pollution locale engendre des coûts sociaux importants (Gagnon et Pineau, 2012). Notamment,

- i) des frais médicaux;
- ii) une réduction de la qualité de vie;
- iii) des décès prématurés; et
- iv) une perte de productivité.

Pour évaluer ces coûts externes, Parry et *al* (2014) proposent les quatre étapes suivantes :

- i. déterminer quelle quantité de pollution est inhalée par la population exposée;
- ii. évaluer comment cette exposition affecte le risque de mortalité, la qualité de vie, les frais médicaux et la perte de productivité;
- iii. exprimer cette variation en termes monétaires;
- iv. transposer cette évaluation par distance parcourue.

Contrairement à la congestion et aux accidents, les coûts liés à la pollution locale sont entièrement considérés comme des externalités puisque la part supportée

par le conducteur et ses passagers n'est qu'une infime partie. Par contre, tout comme les deux premières externalités discutées, ils sont reliés à la distance parcourue et non à la consommation de carburant. En effet, selon le Règlement sur les émissions des véhicules routiers et de leurs moteurs du Gouvernement du Canada, tous les véhicules légers doivent respecter les mêmes taux d'émission de polluants atmosphériques par distance parcourue et cela quel que soit le taux de consommation d'essence

3.3.4 - Réchauffement global

Les véhicules légers contribuent aussi grandement au réchauffement global. En 2011, le Québec produisait plus de 81,0 millions de tonnes en équivalent de CO₂ dont 44,3 % provenaient du secteur des transports. De cette proportion, 67,4% étaient causées par les véhicules légers, soit une quantité totale de 24,2 millions tonnes en équivalent de CO₂ (MDDELCC, 2014). Ces émissions sont directement proportionnelles à la quantité d'essence consommée.¹⁵

Tout comme la pollution locale, le réchauffement global causé par les véhicules légers est considéré comme entièrement externe (i.e. le conducteur et ses passagers n'en supportent qu'une infime partie). Pour évaluer cette externalité, il faut déterminer une valeur pour le coût social du carbone. Il s'agit bien entendu d'un sujet controversé qui implique encore beaucoup d'incertitude. C'est pourquoi nous utilisons, dans l'analyse de sensibilité, une étendue assez large de valeurs.

Cependant, le Québec est dans une situation particulière. Il participe à un marché du carbone qui affecte directement le marché de l'essence. En effet, depuis le 1^{er} janvier 2015, l'essence vendue au Québec est assujettie au marché du carbone et les distributeurs d'essence doivent payer des « crédits » carbones. Étant donné que l'élasticité de demande d'essence est très faible et que l'élasticité de l'offre est certainement importante, nous supposons que cette hausse de coût se répercute entièrement par une hausse de prix payée à la

¹⁵ Il existe de légères variations dans le taux d'émission de gaz à effet de serre par litre consommé suivant le type de système d'échappement. Ces variations sont cependant minimes.

pompe par les automobilistes. Selon cette hypothèse, le prix de l'essence au Québec serait déjà majoré de 3,7¢/L par le marché du carbone.

Ainsi, si le coût social du carbone est égal ou inférieur au prix payé sur le marché, l'externalité liée au réchauffement global serait donc déjà entièrement internalisée. Par contre, si le coût social du carbone est supérieur au prix payé sur le marché, l'externalité serait la différence entre le coût externe total et la partie déjà internalisée par le marché du carbone.

4 – Calibration du modèle dans le contexte québécois

Dans cette section, nous présentons en détail les valeurs des paramètres que nous utilisons pour calibrer la taxe dans le contexte québécois. Pour les paramètres les plus importants, nous établissons une valeur centrale ainsi qu'une valeur faible et forte afin d'effectuer une analyse de sensibilité des résultats.

4.1 – Congestion

Afin d'évaluer le coût externe de la congestion à l'aide du modèle de Parry et al (2014) pour les RMR de Montréal et de Québec, nous avons besoin, pour les RMR de Montréal et de Québec, des données suivantes :

- le temps de déplacement réel moyen pour parcourir un kilomètre sur 24h (T);
- le temps de déplacement en écoulement libre pour parcourir un kilomètre (T^{el});
- le taux d'occupation moyen des véhicules légers en période de pointe (α);
- la valeur moyenne du temps en fonction de l'objectif du déplacement (VDT).

Les temps de déplacements moyens et le taux d'occupation moyen sont estimés à partir des enquêtes O-D des deux RMR. Pour chacune des régions, nous utilisons les résultats de simulations effectuées à partir du Modèle de transport de la région de Montréal (MOTREM). Ce modèle permet de simuler les itinéraires et les temps de déplacement suivant le volume de trafic par origine-destination observée dans les enquêtes O-D.¹⁶

Ces simulations permettent entre autres d'obtenir la vitesse de déplacement simulée en écoulement libre ainsi qu'en situation « réelle », où il y a de l'interaction (i.e. de la congestion) entre les véhicules. Elles évaluent la congestion récurrente, c'est-à-dire celle qui survient quotidiennement à cause

¹⁶ Voir Tremblay (2002) pour une explication détaillée du modèle de simulation.

d'un achalandage élevé. La congestion non récurrente, celle qui survient de manière ponctuelle (exemple les retards causés par un accident de la route), n'est pas prise en compte dans le modèle.¹⁷

Pour la RMR de Québec, il s'agit d'une simulation de 57 624 déplacements à la période de pointe du matin (PPAM) et de l'après-midi (PPPM), soit de 6h à 9h et de 15h à 18h respectivement. Cette simulation découle de l'enquête O-D qui a eu lieu à l'automne 2006. Le tableau 4 présente les principaux résultats de cette simulation.

Tableau 4 : Vitesses et temps de déplacement pour la RMR de Québec

Valeurs	PPAM	PPPM	Moyenne
Temps de déplacement en écoulement libre (T^{el})	0,0226 h/km	0,0248 h/km	0,0240 h/km
Temps de déplacement réel en période de pointe	0,0297 h/km	0,0310 h/km	0,0304 h/km
Proportion des déplacements	26,1%	30,4%	-
Vitesse en écoulement libre (S^{el})	53,3 km/h	49,9 km/h	51,4 km/h
Vitesse réelle (S)	41,5 km/h	39,6 km/h	40,4 km/h
Taux d'occupation (o)	1,23	1,23	1,23

Le taux d'occupation provient également de l'enquête O-D de la ville de Québec en 2006. Il s'agit du nombre de personnes en moyenne par véhicule lors de la PPAM. Puisque nous ne connaissons pas le taux d'occupation pour la PPPM, nous faisons l'hypothèse qu'il identique à celui observé pour la PPAM soit 1,23.

Le temps de déplacement moyen réel présenté dans le tableau 4 est simplement le temps moyen de déplacement simulé en période de pointe. Cependant, pour calculer la perte de temps quotidienne, nous devons calculer le temps de

¹⁷ Transports Canada (2006) évaluent les coûts de congestion non récurrente environ au même niveau que ceux causés par la congestion récurrente. Cet élément du modèle pourrait amener à sous-estimer les coûts de congestion.

déplacement moyen sur 24 heures. Pour ce faire, nous faisons les hypothèses suivantes :

- les déplacements hors-pointe s'effectuent à la vitesse d'écoulement libre.
- les fins de semaine et les jours fériés n'ont pas de congestion et les déplacements ont lieu à la vitesse d'écoulement libre. Cela signifie donc que la congestion est présente 250 jours par an.¹⁸

Pour calculer la portion totale de véhicules-kilomètres en période de pointe, nous souhaitons utiliser la distance parcourue plutôt que le nombre de déplacements pour mieux déterminer les proportions. Cependant, puisque celle-ci n'est pas disponible, nous utilisons la distance euclidienne pour approximer la distance parcourue des déplacements simulés. Selon cette approche, la portion des déplacements est de 26,1% en PPAM et de 30,4% lors d'un jour ouvrable représentatif. Annuellement, avec 250 jours ouvrables, un total de 38,7% des déplacements ont lieu en période de pointe. Ainsi, le temps de déplacement réel moyen est de 0,0265 h/km sur une période de 24h pour la RMR de Québec.

Pour convertir cette perte de temps en valeur monétaire, il faut monétiser le temps. Cette tâche s'avère complexe puisqu'il s'agit d'un bien non marchand tel que discuté à l'annexe A3. De plus, le temps a également une valeur différente d'un individu à un autre. Sans compter que le motif du déplacement viendra aussi influencer cette valeur.

La valeur centrale du temps utilisée dans ce mémoire est celle proposée par le MTQ dans le guide d'analyse avantages-coûts.¹⁹ Ce guide propose différentes valeurs, basées sur le salaire brut moyen des Québécois, selon trois motifs de déplacement : travail, études et autres. Le tableau 5 présente ces valeurs ainsi que la répartition des motifs de déplacement.

¹⁸ Il s'agit probablement d'une hypothèse discutable, mais en l'absence de données fiables, nous choisissons l'approche la plus conservatrice.

¹⁹ Ministère des Transports du Québec. *Guide d'analyse avantages-coûts des projets publics en transport - Partie 3 : Paramètres (données de 2011)*. 2013

Tableau 5: Motifs de déplacement et valeur du temps associé pour la RMR de Québec

Valeurs	Travail	Études	Autres
Proportion déplacement	31,8%	2,2%	65,9%
Valeur du temps (\$/h)	31,05	11,14	21,16
Moyenne pondérée (\$/h)	24,09		

Pour la RMR de Montréal, c'est 144 440 déplacements simulés entre 5h et 23h pour une journée de semaine typique de l'automne en 2008. Pour le calcul de la congestion, nous utilisons les mêmes PPAM et PPPM que pour la RMR de Québec, soit 6h à 9h et 15h à 18h respectivement. Le tableau 6 présente les résultats de la simulation pour cette région.

Tableau 6: Vitesses et temps de déplacement pour la RMR de Montréal

Valeurs	PPAM	PPPM	Moyenne
Temps de déplacement en écoulement libre (T^{el})	0,0177 h/km	0,0182 h/km	0,0180 h/km
Temps de déplacement réel en période de pointe	0,0288 h/km	0,0304 h/km	0,0297 h/km
Proportion des déplacements	26%	28,9%	-
Vitesse en écoulement libre (S^{el})	60,2 km/h	58,8 km/h	59,4 km/h
Vitesse réelle (S)	40,0 km/h	37,7 km/h	38,7 km/h
Taux d'occupation (o)	1,22	1,22	1,22

Nous conservons les mêmes hypothèses que pour la RMR de Québec, c'est-à-dire qu'il y a de la congestion seulement les jours ouvrables (250 jours) et les déplacements hors-pointe ont lieu à vitesse d'écoulement libre. Puisque l'information concernant les distances euclidiennes n'était pas disponible, nous avons utilisé le nombre de déplacements plutôt qu'une approximation de la distance parcourue comme nous avons pu faire pour la RMR de Québec. Avec une proportion de déplacement en PPAM et PPPM de 26% et 28,9%

respectivement²⁰, le temps de déplacement moyen simulé pour un kilomètre sur une année est de 0,0221 h/km.

Pour convertir cette perte de temps en valeur monétaire, nous utilisons à nouveau les valeurs du temps selon le motif de déplacement proposé par le MTQ que l'on combine avec la proportion des déplacements par motif de la RMR de Montréal lors de l'enquête O-D en 2008. Ainsi, la valeur moyenne du temps en période de pointe est de 24,35\$/h.

Tableau 7: Motifs de déplacement et valeur du temps associé pour la RMR de Montréal

Valeurs	Travail	Études	Autres
Proportion déplacement	34,2%	1,9%	63,9%
Valeur du temps (\$/h) ²¹	31,05	11,14	21,16
Moyenne pondérée (\$/h)		24,35	

Pour compléter la calibration des coûts externes de congestion, il reste à établir une valeur pour le paramètre β (voir équation 13, page 21). Nous utilisons une valeur de 4 avec 2,5 et 5 comme borne inférieure et supérieure respectivement. La valeur centrale provient de la formule du Bureau of Public Road²² et les bornes sont typiquement celles utilisées dans la littérature (Parry et al, 2014; Small et Verhoef, 2007). Ainsi, les valeurs centrales obtenues pour les coûts marginaux externes de congestion sont de 0,297 \$/km et de 0,485 \$/km pour les RMR de Québec et Montréal respectivement.

Cependant, ces coûts marginaux externes de congestion risquent de surestimer les coûts réels. En effet, ils représentent l'écart entre le coût marginal et le coût moyen au niveau actuel de trafic et non au niveau optimal de congestion.

Pour ajuster les coûts externes de congestion au niveau optimal de congestion, nous supposons que l'élasticité de la demande de déplacement par rapport au coût est constante à -0,24. Cette valeur est justifiée ultérieurement dans cette section. La procédure pour effectuer l'ajustement est détaillée dans l'annexe A2.

²⁰ Selon les faits saillants de l'enquête O-D de 2008 pour la RMR de Montréal. Sur une période annuelle, 37,6% des déplacements ont lieu en période de congestion.

²¹ Les valeurs sont en dollars canadiens de 2013.

²² Consulter Small et Verhoef (2007), page 69-83 pour plus de détails.

Après l'ajustement, l'externalité reliée à la congestion est de 0,223\$/km et de 0,311 \$/km pour les RMR de Québec et Montréal respectivement.

Pour les deux régions urbaines, nous modifions également la VDT dans l'analyse de sensibilité. La valeur faible sélectionnée est celle utilisée par Parry et al (2014), soit la moitié du salaire brute. À l'opposé, la valeur élevée choisie est le double du salaire brute, pour considérer les inconforts de conduite dans une circulation congestionnée et le coût élevé d'arriver en retard au travail (Wardman, 2001).²³

4.2 – Accidents

Pour déterminer le coût des accidents, il faut initialement déterminer une valeur de la vie statistique (VVS). Les valeurs choisies sont celles proposées par Dionne et Lanoie (2004) dans une étude sur les accidents de la route au Québec, soit 5 M\$ comme valeur centrale avec des bornes inférieure et supérieure respectivement de 3M\$ et 7M\$. L'étude en dollars canadiens de 2000 est ensuite ajustée en dollars de 2013 à 6,48M\$ avec des bornes inférieure et supérieure de 3,89M\$ et 9,07M\$ respectivement.

Cependant, le coût externe d'un accident mortel dépasse la VVS du conducteur. Effectivement, dans un accident mortel, il peut y avoir plus d'une victime. Pour tenir compte de cet aspect, nous employons le facteur d'ajustement proposé par le MTQ. Celui-ci consiste à augmenter la VVS de 21% (voir MTQ, 2013). Ainsi, le coût central d'un accident mortel est de 7,85M\$. Les bornes inférieures et supérieures s'établissent respectivement à 4,71M\$ et 10,98M\$.

Par la suite, pour déterminer le coût des accidents avec blessés graves et blessés légers, nous utilisons les hypothèses de ECMT (1998) reprises par Lindberg (2005). Elles suggèrent que le coût moyen des accidents avec blessés graves est égal à 13% du coût moyen des accidents mortels et 1% de celui-ci

²³ Des méthodes d'évaluation de la VDT sont discutées à l'Annexe A3.

pour les accidents avec blessés légers.²⁴ Le tableau 8 présente les différentes valeurs associées à chaque type d'accident.

Tableau 8: Coûts des accidents selon la gravité (en M\$)

Type d'accident	Scénarios		
	Faible	Central	Élevé
Mortels	4,71	7,85	10,98
Avec blessés graves	0,61	1,02	1,43
Avec blessés légers	0,05	0,78	0,11

Il faut ensuite s'interroger sur le nombre d'accidents pour estimer les coûts totaux qui y sont reliés. Pour ce faire, nous utilisons les statistiques du bilan annuel de la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) pour l'année 2013, présenté dans le tableau 9.

Tableau 9: Nombre d'accidents au Québec en 2013 selon la gravité par type d'usager

Usagé impliqué	Mortels	Graves	Légers
Véhicule léger	318	1222	24955
Bicyclette	18	117	1758
Piéton	60	264	2318
Total	396	1603	29031

Source : SAAQ (2014)

En multipliant le coût unitaire par le nombre d'accidents, nous obtenons un coût total d'un peu plus de 7G\$ pour l'année 2013. De ce montant, plus de 44% provient des accidents mortels. Par contre, cette estimation ne reflète pas le coût externe des accidents puisqu'une partie de ces coûts est internalisée par le conducteur.

²⁴ La SAAQ différencie les blessés graves des blessés légers s'il y a eu hospitalisation des victimes.

En analysant le nombre d'accidents par type de véhicule, nous pouvons évaluer le coût externe des accidents. Selon les hypothèses de Parry et al (2014) présentées précédemment, les coûts des accidents des cyclistes et des piétons sont entièrement externes, alors que ceux impliquant des véhicules légers le sont à 25%. Cette dernière estimation fera l'objet d'une analyse de sensibilité et prendra une valeur faible de 0% et une valeur élevée de 50%. Le tableau 10 présente nos estimations avec le scénario central.

Tableau 10 : Coûts externes des accidents par type d'usager et niveau de gravité (en M\$)

Type d'usager	Mortels	Blessés Graves	Blessés Légers	Total
Véhicule léger	623,7	311,6	489,5	1 424,8
Bicyclette	141,2	119,3	137,9	398,5
Piéton	470,7	269,3	181,9	921,9
Total	1 235,7	700,2	809,2	2 745,1

Le coût externe des accidents est de 2745,1M\$. Les accidents impliquant des véhicules légers demeurent le plus grand contributeur avec 1424,8M\$ soit 51,9% du coût externe total. Également, selon le niveau de gravité, les accidents mortels sont toujours les plus coûteux avec 1235,7M\$ soit 45,0% du coût externe total.

Pour estimer l'externalité selon la distance parcourue (\$/km), il faut répartir ces coûts externes sur le total des véhicules-kilomètres. Selon le sondage de 2009 de l'Office de l'efficacité énergétique (OEE), la distance annuelle moyenne parcourue en véhicule par les Québécois est de 14 834 km. En 2013, la province comptait 4 960 872 de véhicules légers immatriculés²⁵. Sur la base de ces données, le nombre de véhicule-kilomètres annuel est donc de 73,6 milliards. En divisant le coût total externe des accidents par le nombre de véhicules-kilomètres, l'externalité est évaluée à 0,0373 \$/km.

²⁵ Selon le bilan 2013 de la SAAQ

4.3 – Pollution atmosphérique locale

L'évaluation des coûts liés à la pollution atmosphérique locale a été réalisée au Québec par Gagnon et Pineau (2012). Ils adaptent les résultats d'une étude de l'Association Médicale Canadienne (AMC) réalisée en 2006 en attribuant une portion des coûts sociaux de la pollution atmosphérique au transport routier. Ils évaluent les coûts reliés aux gaz polluants à 1 227 M\$ ou 1,94¢/km.²⁶ Leurs résultats sont présentés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Coûts liés à la pollution locale pour la province de Québec

Type de coûts	Total (M\$)	Par véhicule	Portion (%)
Soins de santé	69,52	15,70	5,1%
Perte de productivité	105,40	23,55	7,6%
Diminution de la qualité de vie	61,67	13,45	4,3%
Décès	1139,18	257,89	83,0%
Total	1375,76	310,58	100,0%

Source : Gagnon et Pineau (2012)

Ces résultats montrent que la pollution locale des véhicules pour la province de Québec est de 1375,76 M\$. Le coût le plus important est de loin les décès prématurés (83,0%) suivis dans l'ordre par la perte de productivité, la diminution de la qualité de vie et les coûts liés aux soins de santé.

Ce coût total réparti par le nombre de véhicules en 2007 signifie un coût annuel par véhicule de 310,58\$. Cependant, cette valeur s'applique à tous les véhicules routiers et risque de surestimer les coûts de pollution locale créés spécifiquement par les véhicules légers. Pour cette raison, puisque 85% des déplacements de passagers ont lieu avec des véhicules légers (Transports Canada, 2008), nous conservons seulement 85% de ces coûts. Ainsi, le coût total provoqué par les véhicules légers serait de 1169 M\$ et le coût unitaire de 263,99\$ sur une base annuelle. Considérant que les automobilistes québécois

²⁶ Selon l'enquête sur les véhicules du Canada (2008), la distance moyenne parcourue par véhicule au Québec en 2008 était de 14 300 km.

font en moyenne 14 834 km par année, l'externalité liée à la pollution locale est évaluée à 0,0178\$/km

4.4 – Réchauffement global

Tel que discuté précédemment, la valeur la plus influente pour mesurer le coût de cette externalité est le coût social du carbone. La valeur centrale est celle de Parry et al (2014), à 38,1\$/tonne d'équivalents de CO₂. Pour l'analyse de sensibilité, la borne inférieure est le prix sur le marché du carbone Québec-Californie, soit 15,14\$/tonne²⁷. La borne supérieure est celle proposée par le MTQ (2013), soit 83,0\$/tonne.

Selon le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), la combustion d'un litre d'essence produit 0,00243 tonne en équivalent de CO₂. En multipliant cette valeur par le paramètre monétaire choisi, nous obtenons la composante pigouvienne pour internaliser le réchauffement global.

Selon ces données, l'externalité liée au réchauffement global est évaluée à 0,0927\$/L. En soustrayant la partie de celle-ci qui est déjà internalisée par le marché du carbone, la partie externe restante est de 0,0559\$/L pour la valeur centrale. Les externalités non internalisées pour les scénarios faible et élevé sont respectivement de 0\$/L et de 0,1648\$/L.

4.5 – Élasticités

L'augmentation du prix d'un bien normal entraîne la réduction de la quantité demandée de ce bien. C'est la réaction typique du consommateur. La demande d'essence n'y fait pas exception. Une hausse du coût de déplacement aura un impact à la baisse sur la quantité d'essence consommée. Cette réaction est mesurée par l'élasticité-prix de la demande d'essence.

À long terme, les automobilistes peuvent réagir à une hausse des prix de l'essence soit en réduisant la distance parcourue ou en achetant des véhicules

²⁷ MDDELCC. (2015, avril 16). Revenus des ventes aux enchères versés au Fonds vert. Récupéré sur Développement durable Environnement et Lutte contre les changements climatiques: <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/>

moins énergivores. Dans les deux cas, il en résulte d'une diminution de la consommation d'essence agrégée.

Le choix de ces paramètres d'élasticités (élasticité de la demande d'essence, de la distance parcourue et de l'efficacité des véhicules) est, comme nous le verrons dans l'analyse de la sensibilité, celui qui a le plus d'impact sur les résultats. En effet, le choix de ces valeurs permet notamment de déterminer δ , soit la proportion de l'élasticité liée à la réduction de la distance parcourue. Le rôle de ce paramètre est de convertir les externalités liées à la distance parcourue (congestion, accident et pollution locale) en taxe sur l'essence. De plus, l'élasticité-prix de la distance parcourue sert à calculer l'ajustement de la congestion au niveau optimal tel que présenté en annexe A2. Pour ces raisons, il incombe de porter une attention particulière à ces paramètres.

Pour la valeur d'élasticité-prix de la demande d'essence, nous choisissons la valeur centrale proposée par Goodwin et al (2004). Dans une revue de la littérature spécifique à cet enjeu, ils proposent une valeur centrale pour l'élasticité-prix de -0,6 à long terme. Pour l'analyse de sensibilité, les bornes seront les valeurs de long terme estimées par Barla et al (2009) et Basso et Oum (2007), soit -0,3 et -0,8 respectivement.

Bien que l'élasticité-prix soit importante, c'est surtout ses deux composantes qui influencent les résultats. Ainsi, la part de la réduction de la demande d'essence causée par la réduction de la distance parcourue joue un rôle important dans l'analyse. En effet, rappelons que si la réduction de la demande d'essence ne se produisait que par le choix de véhicules plus efficaces, la taxe sur l'essence ne permettrait pas d'internaliser les coûts externes de congestion, d'accident et de pollution locale. Nous fixons la valeur centrale de δ à 0,4 comme Parry et Small (2005) avec une borne inférieure à 0,2 et supérieure à 0,67.

Le paramètre d'élasticité de la distance parcourue est ensuite déduit selon le choix de l'élasticité de la demande d'essence et de δ . Les valeurs varient entre -0,16 et -0,24, soit $\pm 0,04$ par rapport aux résultats de Barla et al (2009). Les

scénarios sont établis selon δ , le paramètre le plus influent, tel que présenté dans le tableau 12.

Tableau 12 : Valeurs d'élasticités

Scénario	Élasticité de la demande d'essence	Élasticité de la distance parcourue	Delta (δ)
Faible	-0,8	-0,16	0,20
Central	-0,6	-0,24	0,40
Élevé	-0,3	-0,20	0,67

4.6 – Autres paramètres

Parmi les autres paramètres nécessaires au calcul de la taxe pigouvienne, il y a la consommation moyenne des véhicules légers. Selon l'enquête sur les véhicules du Canada (2009) réalisée par l'OEE, la consommation moyenne des véhicules légers au Québec est de 9,9 L/100 km.

Également, nous devons comparer avec la situation initiale (i.e. avant l'implantation de la taxe pigouvienne) pour calculer les coûts fixes d'utilisation et le gain de bien-être. Il faut donc établir un prix à la pompe initial. Nous utilisons le prix à la pompe suggéré par CAA (2013), soit 1,24\$/L pour tout le Québec à l'exception de la RMR de Montréal où celui-ci s'établit à 1,27\$/L pour inclure la taxe supplémentaire de l'AMT.

5 – Résultats

Après avoir révisé les études comparables, sélectionné et calibré un modèle approprié au meilleur de nos connaissances, nous présentons dans cette section les résultats. En premier lieu, nous présentons la taxe pigouvienne obtenue pour le scénario central pour les trois régions à l'étude. Ensuite, nous présentons le gain de bien-être que devrait générer cette réforme. Nous enchaînons avec l'analyse de sensibilité pour évaluer la robustesse des résultats. Finalement, dans les deux dernières sous-sections nous comparons nos résultats avec ceux d'autres études existantes et analysons les implications pour les politiques publiques.

5.1 – Scénario central

5.1.1 – Taxe pigouvienne

À partir du modèle de Parry (2009a) et sur base des valeurs des paramètres présentés à la section précédente, nous calibrons le niveau de la taxe pigouvienne optimale pour trois régions spécifiques de la province de Québec, soit la RMR de Montréal, celle de Québec et le RdQ. Les résultats avec les valeurs centrales des paramètres sont présentés au tableau 13.²⁸

Tableau 13 : Résultats du scénario central (\$/L)

Externalités	RMR de Montréal	RMR de Québec	RdQ
Congestion	1,26	0,90	-
Accidents	0,15	0,15	0,15
Pollution locale	0,073	0,073	0,073
Réchauffement global	0,056	0,056	0,056
Total	1,53	1,18	0,28

La sommation peut parfois différer à cause de l'arrondissement de certaines valeurs.

Pour la RMR de Montréal, l'externalité la plus importante est la congestion routière. À elle seule, elle est responsable de 82,4% de la taxe proposée de 1,53\$/L. En comparaison avec la taxe actuelle de 0,322\$/L, il s'agirait d'une augmentation colossale de 1,21\$/L par litre, soit plus de 375%.

²⁸ Le sommaire des valeurs centrales utilisées pour l'équation (2a) sont présentés à l'Annexe A1 dans le tableau 16.

Malgré un niveau de congestion moins élevé dans la RMR de Québec, il n'en demeure pas moins que c'est encore l'externalité la plus élevée. Elle contribue à 76,3% de la taxe proposée de 1,18\$/L.

Finalement, le niveau de taxe actuel peut être vu comme adéquat pour internaliser les externalités présentes en région, soit celles liées aux accidents de la route (0,15\$/L), à la pollution locale (0,073\$/L) et au réchauffement global (0,056\$/L).

5.1.2 – Gain de bien-être

Comme le calcul de la taxe pigouvienne, le gain de bien-être s'évalue de la même manière que Parry (2009a). Tel qu'illustré à la figure 1, le gain de bien-être se mesure par le surplus lié à la réduction des coûts externes engendrée par la baisse de la consommation d'essence.

L'impact sur le bien-être est le plus important pour la RMR de Montréal avec un gain estimé à 714,1M\$ sur une base annuelle. La hausse de la taxe sur l'essence entraînerait une réduction de la consommation d'essence de 1178 millions de litres d'essence. De son côté, la RMR de Québec bénéficierait d'un gain de bien-être de 110,4M\$ et d'une réduction de consommation d'essence de 249 millions de litres.

Pour le RdQ, la situation est différente. Étant donné que le taux proposé est inférieur à la taxe d'accise actuelle, les externalités augmenteraient un peu suite à l'implantation de la taxe optimale. Toutefois, il y a quand même un déséquilibre et le nouveau taux de taxation rétablirait cet équilibre créant un gain de bien-être de 0,2M\$, mais avec une augmentation de 34 millions de litres d'essence.

Ainsi, pour l'ensemble du Québec, le gain de bien-être serait 824,7 M\$ accompagné d'une baisse de consommation d'essence agrégée de 1393 millions de litres, soit une réduction de 16,3% par rapport à la quantité vendue en 2013. De ce total, 86,6% du gain de bien-être provient de l'ajustement de la taxe dans la RMR de Montréal.

5.2 – Analyse de sensibilité

Tel que mentionné précédemment, l'évaluation d'éléments incertains doit être accompagnée d'une analyse de sensibilité. Elle permet d'identifier les paramètres qui ont le plus d'effet sur les résultats et de s'assurer de la robustesse de ces derniers.

Les paramètres qui ont fait l'objet d'une analyse de sensibilité sont :

- Coût social du carbone
- VVS
- β
- VDT
- Proportion externe des accidents impliquant plusieurs véhicules.

Pour chacun de ces paramètres, nous définissons une borne inférieure et supérieure et vérifions comment les niveaux de taxes se modifient en fonction de ces valeurs extrêmes (toute autre chose étant égal par ailleurs). Les résultats sont présentés dans le tableau 14.²⁹

Tableau 14 : Analyse de sensibilité – paramètres

Paramètres	Scénario	Valeurs	Taxes (\$/L)		
			RMR de MTL	RMR de Qc	RdQ
Référence	Central	-	1,53	1,18	0,28
Coût social du carbone	Faible	15,14 \$/tonne	1,48	1,12	0,22
	Élevé	82,96 \$/tonne	1,64	1,29	0,39
VVS	Faible	4,71M\$/accident	1,47	1,12	0,22
	Élevé	10,98 M\$/accident	1,59	1,24	0,34
β	Faible	2,5	1,27	0,93	0,28
	Élevé	5	1,61	1,27	0,28
VDT	Faible	12,18 – 12,04\$/h*	0,92	0,73	0,28
	Élevé	48,70 – 48,17 \$/h*	2,76	2,08	0,28
% externe des accidents multi-véhicules	Faible	0%	1,46	1,10	0,20
	Élevé	50%	1,61	1,26	0,36

*La VDT diffère pour les deux centres urbains pour refléter les motifs de déplacement.

²⁹ Les effets de ces variations sur le calcul des externalités sont présentés à l'Annexe A1 dans le tableau 17.

La variation de la valeur accordée au carbone affecte l'externalité liée au réchauffement global. Elle se répercute donc dans les trois taux de taxation proposés. L'estimation faible au prix du marché du carbone Québec-Californie amène une réduction de l'ordre de 0,05 à 0,06\$/L de la taxe proposée en comparaison avec le scénario central. À l'opposé, l'estimation élevée suggère une augmentation de 0,11\$/L, toujours par rapport au scénario retenu.

Les variations de la VVS ont sensiblement les mêmes effets que la valeur du carbone. Cependant, ils affectent le coût externe des accidents. Les répercussions sur la taxe optimale seraient plus ou moins 0,06\$/L dépendamment du scénario choisi. Évidemment, une hausse de la VVS entraîne une hausse de l'externalité donc une hausse de la taxe pigouvienne associée.

Un autre paramètre qui fait varier les coûts externes des accidents est la proportion externe attribuée aux accidents impliquant plusieurs véhicules. Lorsque celle-ci est nulle (0%), la taxe sur l'essence diminue de 0,08\$/L pour les trois régions étudiées. Si cette proportion était plutôt de 50%, il y aurait une hausse de 0,08\$/L par rapport au scénario central.

Les paramètres β et VDT influencent uniquement la composante congestion. Cela signifie que la taxe pour le RdQ n'est pas affectée par ces paramètres. La réduction du paramètre β à 2,5 réduit les taxes pigouviennes pour la RMR de Montréal et de Québec de 0,26\$/L et de 0,25\$/L respectivement. S'il était plutôt élevé à 5, la taxe augmenterait de 0,08\$/L et de 0,09\$/L respectivement pour ces deux régions.

De son côté, la VDT affecte grandement les résultats. Puisque le coût principal associé à la congestion est la perte de temps, il va de soi que ce paramètre influence ces coûts. Sa valeur faible réduit les taxes de 0,61\$/L pour la RMR de Montréal et de 0,45\$/L pour la RMR de Québec alors que sa valeur élevée l'augmente respectivement de 1,23\$/L et de 0,90\$/L relativement au scénario de référence.

Nous effectuons aussi une analyse de sensibilité sur base des valeurs des élasticités. Les résultats sont présentés dans le tableau 15

Tableau 15 : Analyse de sensibilité - élasticités

Élasticité-prix demande d'essence	Élasticité-prix distance parcourue	δ	Scénario	Taxes (\$/L)		
				RMR de MTL	RMR de Qc	RdQ
-0,8	-0,16	0,2	Faible	0,87	0,66	0,17
-0,6	-0,24	0,4	Central	1,53	1,18	0,28
-0,3	-0,2	0,67	Élevé	2,64	1,99	0,43

Tel que discuté précédemment, étant donné que le paramètre le plus influent est δ , nous désirons vérifier l'impact de sa variation. Pour ce faire, nous fixons δ à 0,2 pour la borne inférieure, 0,67 pour la borne supérieure et 0,4 pour la valeur centrale. Les valeurs des élasticités sont ensuite choisies suivant les résultats obtenus dans la littérature tout en s'assurant d'être cohérente avec la valeur de δ .

Le scénario faible ($\delta = 0,2$) implique une faible proportion de la réaction des conducteurs provenant d'une réduction de la distance parcourue. Ainsi, l'augmentation de la taxe a peu d'effet sur les externalités liées à la distance parcourue. Pour cette raison, ce scénario se traduit par la plus faible estimation de la taxe pour les trois territoires à l'étude, soit 0,87\$/L, 0,66\$/L et 0,17\$/L pour la RMR de Montréal, celle de Québec et le RdQ respectivement.

À l'opposé, le scénario élevé ($\delta = 0,67$) implique qu'une forte proportion de la réaction des conducteurs se traduit par une réduction de la distance parcourue. La contribution à la taxe pigouvienne des externalités liées à la distance parcourue est donc plus importante. Ceci se répercute dans une estimation élevée des taxes optimales qui passent à 2,64\$/L pour la RMR de Montréal, 1,99\$/L pour la RMR de Québec et 0,43\$/L pour le RdQ.

À la lumière de cette analyse, la variation de ces paramètres clés est robuste dans la mesure où chaque scénario en secteurs urbains propose des taxes supérieures aux taxes d'accises actuelles. En effet, une taxe qui internalise les externalités des véhicules légers devrait être au moins de 0,87\$/L pour la RMR de Montréal et de 0,66\$/L pour la RMR de Québec. Pour le RdQ, l'analyse de

sensibilité indique que la taxe devrait être entre 0,17\$/L et 0,43\$/L, ce qui est le cas présentement.

5.3 – Comparaison avec d'autres études

À première vue, certains résultats semblent pour le moins élevés en comparaison avec ceux obtenus dans d'autres études. C'est le cas particulièrement des estimations pour les RMR de Montréal et Québec. L'écart provient essentiellement des coûts externes de congestion qui sont nettement plus élevés dans notre analyse.

La plupart des études antérieures calibrent le taux de taxe sur la base de données agrégées au niveau national (États-Unis, Canada, Royaume-Uni, Chili) ou d'un État (Californie). Ces estimations n'étant pas ciblées spécifiquement pour des régions urbaines, il est normal que leurs coûts de congestion soient plus faibles.

À des fins de comparaison, nous calculons le taux de taxe moyen sur l'essence pour l'ensemble de la province à partir des trois taux que nous avons obtenu précédemment. Ce taux de taxe moyen est calculé comme une moyenne pondérée par les ventes d'essence dans les trois régions. Nous obtenons ainsi une taxe moyenne de 0,72\$/L. Cette taxe pondérée dépasse légèrement celle de Parry et al (2014) qui propose 59,95\$/L pour le Canada. L'écart provient surtout du fait que nos simulations sur la congestion routière sont plus récentes que celles qu'ils ont utilisées. Un ajustement de la sorte pourrait engendrer un gain de bien-être de 568,2 M\$ pour la province.

La comparaison avec Wood (2014) est également pertinente puisqu'il fait l'analyse pour une région urbaine canadienne. Nos coûts de congestion sont de 0,311\$/km et 0,223\$/km pour les RMR de Montréal et Québec respectivement. De son côté Wood (2014) propose 0,135\$/km pour le GTHA. Il est peu probable que l'externalité liée à la congestion soit plus élevée pour nos régions à l'étude

que pour le GTHA. Surtout pour la RMR de Québec compte tenu de sa densité de population beaucoup plus faible.³⁰

Cette différence s'explique essentiellement par des divergences d'hypothèses. À noter particulièrement, Wood suppose que 17% des déplacements ont lieu en période de pointe, alors que nos données nous amènent à travailler avec un pourcentage nettement plus élevé à 38%. La taxe pigouvienne calibrée par Wood est donc nettement plus faible à 0,46\$/L que nos calibrations (1,53\$/L pour la RMR de Montréal et 1,18\$/L pour la RMR de Québec).³¹

Outre la différence dans les coûts de congestion, un autre facteur qui peut expliquer la différence avec Wood est la valeur attribuée au paramètre δ . Wood utilise la valeur de 0,214. Rappelons que ce paramètre influence grandement les résultats. Ainsi, lorsque nous utilisons les mêmes hypothèses que Wood (17% des déplacements congestionnés et $\delta = 0,214$), nos résultats chutent drastiquement à 0,62\$/L et 0,43\$/L pour les RMR de Montréal et Québec respectivement.

Par litre d'essence, les coûts de congestion semblent très importants (1,26\$/L pour Montréal et 0,90\$/L pour Québec). Il est cependant utile de calculer comment l'ajout de ces coûts de congestion à la taxe sur l'essence affecterait la dépense journalière des automobilistes. Ainsi, un automobiliste qui parcourt en moyenne 14 834 km par année, avec une voiture qui consomme 9,9L/100km, paierait quotidiennement l'équivalent de 5,07\$/jour par jour dans la RMR de Montréal et 3,62\$/jour dans la RMR de Québec. À titre de comparaison, à Londres, pour entrer dans la zone urbaine désignée un jour de semaine entre 6h

³⁰ Selon Statistique Canada, au recensement de 2011 la densité de population du GTHA, de la RMR de Montréal et Québec était respectivement 922, 898 et 229 habitants/km².

³¹ Notons aussi que le taux calibré par Wood (2014) se démarque aussi de l'estimation de Parry et al (2014) pour l'ensemble du Canada. En effet, Wood (2014) obtient un taux de taxe pour la GTHA qui est inférieur au taux obtenu par Parry et al (2014) pour l'ensemble du Canada. Cela est surprenant puisqu'il est plus que probable que la congestion au GTHA soit supérieure à la moyenne canadienne.

et 18h, les automobilistes se voient charger 11,5 £, soit 20,92 dollars canadiens.³²

Ainsi, bien que nos résultats soient élevés par rapport à la revue de littérature, une brève analyse permet d'expliquer ces différences. De plus, la comparaison avec le système de péage à Londres permet de constater que nos recommandations ne sont pas du tout irréalistes.

5.4 – Implications pour les politiques publiques

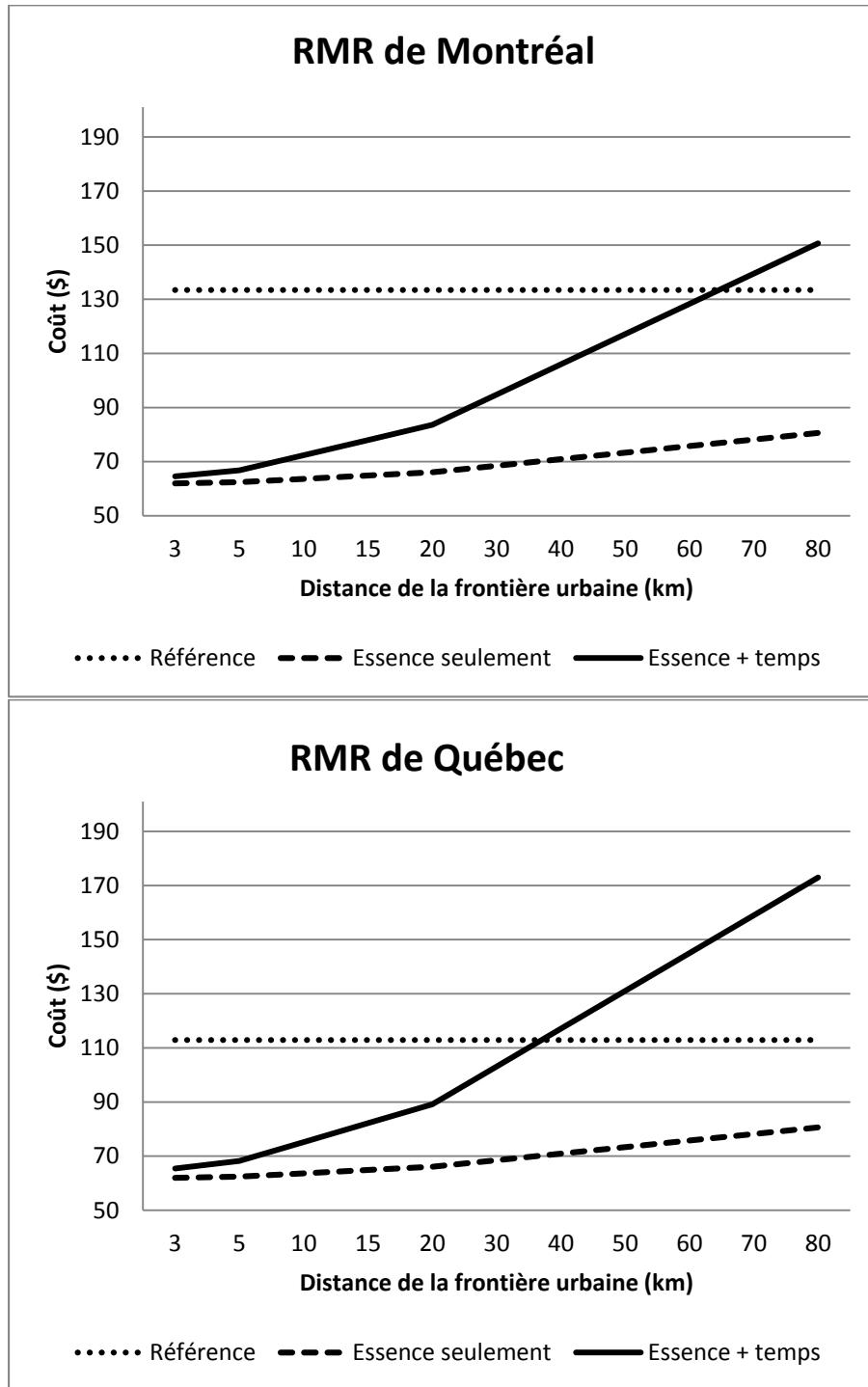
Les résultats suggèrent que la taxe actuelle serait suffisamment élevée pour internaliser les externalités liées aux accidents, à la pollution locale ainsi qu'au réchauffement global. Cependant, pour s'attaquer aux problèmes de congestion, il doit y avoir une augmentation importante de la taxe pour les RMR de Montréal et de Québec.

Une distinction géographique avec des taux aussi différents risque d'être problématique. L'écart est tel que les automobilistes montréalais auraient avantage à parcourir une distance de plus de 64 km (128 km aller-retour) pour faire le plein (50L) avec une voiture moyenne qui consomme 9,9L/100km en tenant compte de la VDT. Dans ces mêmes conditions, les automobilistes de la RMR de Québec parcourraient plus de 37 km (74 km aller-retour) pour faire le plein.³³ À première vue, une taxe pour internaliser les coûts sociaux des véhicules légers, mais qui incite les gens à faire de longs détours pour faire le plein paraît aberrante. La figure 4 montre, pour une distance donnée, quel serait le coût d'indifférence pour les automobilistes entre faire le plein à la station-service la plus proche ou sortir de la zone urbaine afin d'éviter la taxe spécifique à la RMR.

³² Congestion Charge. (2015, septembre 02). Récupéré sur Transport for London: <https://tfl.gov.uk/> et montant converti en dollars canadiens selon le taux moyen de la Banque du Canada pour l'année 2014.

³³ Dans les deux cas, nous faisons l'hypothèse que les gens iront faire le plein en période hors-pointe donc à une vitesse d'écoulement libre. La VDT utilisée est la même que pour le calcul des coûts marginaux externes de congestion.

Figure 4 : Coût de faire le plein (50L)



Il pourrait être intéressant d'utiliser cet arbitrage pour établir un taux de taxation sur l'essence graduel selon la distance à parcourir afin de sortir de la RMR. Cela enlèverait l'incitatif à parcourir des kilomètres supplémentaires pour économiser.

Par contre, il ne faut pas oublier qu'un des arguments pour motiver l'utilisation de la taxe sur l'essence pour internaliser les coûts sociaux est la simplicité de l'implantation. Dans le cas où chaque station-service possède une taxe différente, l'aspect « simplicité » de cette solution s'estompe rapidement.

Une autre alternative pour contourner le problème d'un écart trop grand est d'utiliser la taxe pondérée de 0,72\$/L pour l'ensemble du Québec. C'est essentiellement ce que suggèrent les études qui se concentrent sur des grands territoires (Parry et Small, 2005; Parry, 2009a; Parry et Strand, 2012; Parry et al, 2014; Lin et Prince, 2009). De cette façon, l'arbitrage au sein de la province est éliminé.³⁴ Cependant, cette solution signifie que les zones rurales paient une taxe liée à la congestion alors qu'elles ne subissent pas de congestion. Il serait important de s'assurer, dans ce cas, que les recettes ainsi générées retournent dans les régions. Par contre, dans les régions urbaines, la taxe n'internalisera pas parfaitement les coûts de congestion.

Puisque la taxe d'accise actuelle internalise déjà les coûts sociaux liés aux accidents, à la pollution locale et au réchauffement global, il serait possible de la conserver ainsi et d'internaliser les coûts externes de congestion par un autre mécanisme. L'instauration de péage avec une tarification en fonction de l'heure constitue en effet le mécanisme le plus efficace pour réduire la congestion. D'autant plus qu'une telle solution ne perdrait pas d'efficacité advenant l'électrification de la flotte automobile. Il resterait quand même un travail d'éducation à faire auprès de la population car ce genre de mesure est peu populaire au Québec.³⁵

Quelle que soit la solution retenue, une augmentation de la taxe sur l'essence entraînerait une hausse des revenus pour le gouvernement. Il faut voir comment ces nouveaux revenus pourraient être utilisés. L'objectif du mémoire n'est pas de suggérer une façon de gérer les finances publiques, mais il y a certainement quelques éléments essentiels à souligner.

³⁴ Le risque d'arbitrage dans les zones frontalières reste cependant bien réel.

³⁵ Le 28 juin 2013, Radio-Canada rapportait que la Ville de Montréal et le Gouvernement du Québec s'opposaient fermement à l'implantation d'un péage sur le nouveau pont Champlain.

Premièrement, une hausse de la taxe sur l'essence dans les centres urbains aurait un effet à la baisse sur l'achalandage des véhicules légers, mais également, fort probablement, un effet à la hausse sur celui du transport en commun. La hausse de revenus engendrée par la nouvelle taxe sur l'essence pourrait ainsi servir à améliorer l'offre de transport en commun.

Également, bien que des études démontrent que la taxe sur l'essence n'est pas nécessairement régressive lorsqu'on considère les revenus sur toute la durée de vie (Sterner, 2012), certains ménages pourraient tout de même souffrir de cette nouvelle taxe. Si tel est le cas, il faudrait voir à ce que ceux-ci soient éventuellement « compensés » autrement.

Tout bien considéré, une réduction de la consommation d'essence au Québec est sûrement souhaitable, du moins sur le plan environnemental. Malgré la problématique d'arbitrage d'une taxe pigouvienne de second rang pour trois régions distinctes, notre analyse montre que le coût actuel payé par les conducteurs dans les RMR de Montréal et Québec est trop faible par rapport au coût qu'il engendre pour la société.

6 - Conclusion

L'utilisation des véhicules légers crée plusieurs externalités négatives. Elles proviennent majoritairement de la congestion, des accidents, de la pollution locale et du réchauffement global. Ce mémoire avait pour objectif principal de proposer une taxe de second rang sur l'essence qui internaliseraient ces différentes externalités au Québec. Il apporte un nouvel élément en faisant une distinction géographique pour les deux principaux centres urbains, soit la RMR de Montréal et celle de Québec. Par la suite, nous voulions évaluer le gain de bien-être de l'implantation d'une telle taxe.

C'est en utilisant un modèle de maximisation sous contrainte proposé par Parry (2009a) que nous avons atteint ces objectifs. Nos résultats suggèrent que la taxe d'accise actuelle serait suffisante pour les régions du Québec où il n'y a pas de congestion, mais insuffisante pour les principaux centres urbains qui souffrent de congestion. Ainsi, il faudrait augmenter la taxe sur l'essence pour la RMR de Montréal à 1,53\$/L, 1,18\$ dans la RMR de Québec et la réduire légèrement à 0,28\$/L dans le reste de la province. Ces modifications engendreraient potentiellement un gain de bien-être pour la province de Québec de 824,7 M\$ par an.

L'avantage d'une taxe optimale de second rang est que le système de taxation est déjà en place et serait donc facile à planter en comparaison avec d'autres mesures nouvelles comme des péages ou des primes d'assurances automobiles variables. Par contre, l'importante différence entre les taux proposés pourrait rendre impossible l'implantation de ces taux différenciés et causer des problèmes. Pour cette raison, nous avons évalué une alternative, soit une taxe uniformisée pour l'ensemble du Québec. Cette dernière serait de 0,72\$/L et pourrait engendrer un gain de bien-être de 568,2 M\$ pour la province.

Quoi qu'il en soit, ce mémoire démontre qu'il y a bel et bien un déséquilibre entre le prix payé par les automobilistes et les coûts engendrés par leur utilisation de la route. Bien qu'utiliser la taxe sur l'essence présente des lacunes, il nous apparaît

pertinent d'avoir évalué cette avenue pour s'attaquer à un problème réel dans la province.

À la suite de cette recherche, il serait intéressant d'évaluer comment cette taxe interagirait avec le reste du système de taxation et ajuster le taux proposé en conséquence. Étant donné les résultats présentés en revue de littérature, il est fort probable que la taxe calculée incluant ce nouvel aspect soit encore plus élevée. Aussi, vu l'importance des coûts externes de congestion pour les RMR de Montréal et Québec, il serait pertinent d'analyser l'alternative du péage qui toucherait plus directement la problématique.

Bibliographie

- Association médicale canadienne. (2008). *No breathing room - National illness costs of air pollution.*
- Barla, P., Lamonde, B., Miranda-Moreno, L. F., & Boucher, N. (2009). Traveled distance, stock and fuel efficiency of private vehicles in Canada: price elasticities and rebound effect. *Transportation*, Volume 36, No 4 , 389-402.
- Basso, L. J., & Oum, T. H. (2007). Automobile fuel demand: a critical assessment of empirical methodologies. *Transport Reviews*, Vol. 27, No. 4, 449–484.
- Clements, B., Coady, D., Fabrizio, S., Gupta, S., Alleyene, T., Sdralevich, C., & eds. (2013). Energy subsidy reform: lessons and implications. Washington: International Monetary Fund.
- Dionne, G., & Lanoie, P. (2004). Public choice about the value of a statistical life for cost-benefit analyses - the case of road safety. *Journal of Transport Economics and Policy*, Volume 38, Part 2, 247-274.
- ECMT. (1998). Efficient transport for Europe, policies for internalisation of external costs. *European Conference of Ministers of Transport*. Paris.
- Eliasson, J. (2006). *Cost-benefit analysis of the Stockholm congestion charging system*. Transek AB.
- Gagnon, L., & Pineau, P.-O. (2012). *Road transportation in Quebec: What is the appropriate economic signal about the costs of accidents and air pollution?* Consulté le 03 02, 2015, sur <http://expertise.hec.ca/gridd>
- Goodwin, P., Dargay, J., & Hanly, M. (2004). Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income: a review. *Transport Reviews*, Vol. 24, No. 3, 275–292.
- Gouvernement du Canada. (2014). *Règlement sur les émissions des véhicules routiers et de leurs moteurs*. Récupéré sur Site Web de la législation (Justice): <http://lois-laws.justice.gc.ca/>
- Gouvernement du Québec. (2015, 03 01). *Règlement concernant le système de plafonnement et d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre*. Consulté le 04 02, 2015, sur <http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/>
- Joubert, G., Laplante, C., & Charette, G. (2009). *Évaluation des coûts de la congestion routière dans la région de Montréal pour les conditions de référence de 2003*. Les Conseillers ADEC inc.
- Lin, C.-Y. C., & Prince, L. (2009). *The optimal gas tax for California*. Consulté le 03 04, 2015, sur <http://ucdavis.edu/>
- Lindberg, G. (2005). Accidents. Dans C. Nash, & B. Matthews, *Measuring the marginal social cost of transport* (pp. 155-183). Elsevier.

- McCarthy, P. S. (2001). *Transportation economics, theory and practice : a case study approach*. Blackwell Publishing.
- Ministère des Ressources Naturelles du Canada. (2015, janvier). *Info-Carburant, Revue annuelle – 2014*. Consulté le 02 24, 2015, sur <http://www.rncan.gc.ca/>
- Ministère des Transports du Québec. (2013). *Guide d'analyse avantages-coûts des projets publics en transport - Partie 3 : Paramètres (données de 2011)*.
- Ministère des transports du Québec. (s.d.). *Mobilité des personnes dans la région de Montréal - Enquête Origine-Destination 2008, version 08.2a*.
- Ministère des transports du Québec, Réseau de transport de la capitale et société de transport de Lévis. (2008). *La mobilité des personnes dans la région de Québec – Sommaire des résultats de l'enquête origine-destination 2006*.
- Ministère du Développement Durable Environnement et Lutte contre les Changements Climatiques. (2015, avril 16). *Revenus des ventes aux enchères versés au Fonds vert*. Récupéré sur <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2014, mai). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2011 et évolution depuis 1990*. Consulté le avril 2, 2015, sur <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/>
- Office de l'efficacité énergétique. (2009). *Canadian vehicle survey - summary report*. Ressources naturelles du Canada.
- Parry, I. W. (2009a). *How much should highway fuels be taxed*. Washington: Resources for the future.
- Parry, I. W. (2009b). Pricing urban congestion. *The Annual Review of Resource Economics*, 461-484.
- Parry, I. W., & Small, K. A. (2005). Does Britain or the United States Have the Right Gasoline Tax? *The American Economic Review*, Vol. 95, No. 4, 1276-1289.
- Parry, I. W., & Small, K. A. (Mars 2002 (rev. Sept. 2004)). Does Britain or the United States have the right gasoline tax? *Resources for the future*.
- Parry, I., & Strand, J. (2012). International fuel assessment: an application to Chile. *Environment and Development Economics*, 127-144.
- Parry, I., Heine, D., Lis, E., & Li, S. (2014). *Getting energy prices right : from principle to practice*. Washington: International Monetary Fund.
- Radio-Canada. (2013, juin 28). *Péage sur le pont Champlain : Montréal et Québec disent non, Ottawa inflexible*. Récupéré sur Ici Radio-Canada: <http://ici.radio-canada.ca/>

- Ramsey, F. P. (1927). A contribution to the theory of taxation. *The Economic Journal*, 37(145), 47-61.
- Régie de l'Énergie du Québec. (2014). *Produits pétroliers*. Consulté le 02 22, 2015, sur <http://www.regie-energie.qc.ca/>
- Ressources naturelles Canada. (2008). *Enquête sur les véhicules au Canada*.
- Small, K. A., & Verhoef, E. T. (2007). *The economics of urban transportation*. Routledge.
- Société de l'assurance automobile du Québec. (2014). *Dossier statistique - Bilan 2013*. SAAQ.
- Statistique Canada. (2015). *Essence et autres combustibles de pétrole vendus*. Récupéré sur CANSIM, tableau 405-0002: <http://www.statcan.gc.ca/>
- Sterner, T. (2012). Distributional effects of taxing transport fuel. *Elsevier - Energy Policy* 41, 75-83.
- Transport for London. (2015, septembre 02). *Congestion Charge*. Récupéré sur <https://tfl.gov.uk/>
- Transports Canada. (2006). *The cost of urban congestion in Canada*. Transports Canada - Environmental Affairs.
- Transports Canada. (2008). *Estimations de la totalité des coûts du transport au Canada*.
- Tremblay, P. (2002). *Survol technique du modèle de transport de la région de Montréal*. Ministère des Transport du Québec.
- Wardman, M. (2001). A review of British evidence on time and service quality valuations. *Transportation Research part E*, 107-128.
- Wood, J. (2014). The second-best optimal gasoline tax for the Greater Toronto-Hamilton Area. School of business and Economics - Thompson Rivers University.

Annexes

A1 – Autres tableaux

Tableau 16 : Données utilisées pour l'équation (2a) – scénario central

Paramètres	Unités	Valeur
Efficacité initiale des voitures	L/km	0,099
Coût externe lié à la consommation d'essence (e_G)	\$/L	0,056
Coût externe lié à la distance parcourue (e_M) - Montréal	\$/km	0,366
Congestion (RMR de Montréal)	\$/km	0,311
Pollution locale	\$/km	0,018
Accidents	\$/km	0,037
Coût externe lié à la distance parcourue (e_M) – Québec	\$/km	0,278
Congestion (RMR de Québec)	\$/km	0,223
Pollution locale	\$/km	0,018
Accidents	\$/km	0,037
Coût externe lié à la distance parcourue (e_M) – RdQ	\$/km	0,055
Pollution locale	\$/km	0,018
Accidents	\$/km	0,037
Élasticité-prix de la consommation d'essence (η_G)	-	0,6
Élasticité-prix de la distance parcourue (η_M)	-	0,24
Proportion liée à une réduction de la distance parcourue (δ)	-	0,4

Tableau 17 : Analyse de sensibilité – effet sur les externalités

Paramètres	Scénario	Valeurs	Unités	Externalités (\$/km)				Externalités (\$/L)
				Congestion (MTL)	Congestion (Qc)	Accidents	Pol. locale	
Référence	Central	-	-	0,311	0,223	0,037	0,018	0,056
Coût social du carbone	Faible	15,14	\$/tonne	-	-	-	-	0,00
	Élevé	82,96		-	-	-	-	0,165
VVS	Faible	4,71	M\$/accident	-	-	0,022	-	-
	Élevé	10,98		-	-	0,052	-	-
β	Faible	2,5	-	0,245	0,162	-	-	-
	Élevé	5		0,329	0,247	-	-	-
VDT	Faible	12,18 – 12,04*	\$/h	0,159	0,111	-	-	-
	Élevé	48,70 – 48,17		0,614	0,445	-	-	-
% externe accidents multi-véhicules	Faible	0%	-	-	-	0,018	-	-
	Élevé	50%	-	-	-	0,057	-	-

*La VDT diffère pour les deux centres urbains pour refléter les motifs de déplacement.

A2 - Ajustement de la congestion au niveau V*

Le principe général est le suivant : nous supposons une demande de déplacement dont l'élasticité par rapport au coût du déplacement est constante. De plus, avec les formes fonctionnelles adoptées du coût moyen et marginal de congestion, l'élasticité de ces coûts par rapport au volume est aussi constante à 0,24. L'explication ci-dessous utilise les données simulées selon l'enquête O-D de 2006 pour la ville de Québec et présente le scénario central retenu.

Nous avons le coût moyen total d'un déplacement par km, soit le coût fixe (f) et le coût qui dépend du volume (i.e. les coûts de congestion).

$$CM = c^0 + wT^{el} + CM^c = f + CM^c \quad (14)$$

Le coût marginal total d'un déplacement par km est donné par :

$$Cm = c^0 + wT^{el} + Cm^c = f + Cm^c \quad (15)$$

Avec :

- c^0 les coûts monétaires par km d'un déplacement (carburant, entretien et usure des pneus)
- wT^{el} : le coût en temps avec écoulement libre ($w = o * VDT$)
- $CM^c = (T - T^{el}) * w = \alpha V^\beta * w$: le coût moyen lié à la congestion
- $Cm^c = (\beta + 1)CM^c$: le coût marginal lié à la congestion
- On remarque que : $\frac{V}{CM^c} \frac{\partial CM^c}{\partial V} = \frac{V}{Cm^c} \frac{\partial Cm^c}{\partial V} = \beta$ qui agit comme une élasticité pour le coût moyen et le coût marginal lié à la congestion.

Tableau 18 : Paramètres pour l'ajustement du niveau de congestion

Partie fixe des coûts:

- $c^0 = 0,1583\$/km$ (CAA, 2013)³⁶
- $w = 29,63\$/h$
- $T^{el} = 0,0239642 h/km$
- Donc $f^0 = 0,8682 \$/km$

Situation initiale au volume actuel V^0

- $T = 0,0264684 h/km$
- $CM^{c0} = 0,06683 \$/km$
- $Cm^{c0} = 0,3342 \$/km$
- $t^0 = 0,2674 \$/km$
- $CM^0 = 0,764 + 0,06683 = 0,8308$ (ce que paie l'automobiliste)
- $Cm^0 = 0,764 + 0,3342 = 1,0313$ (coût réel)

Ainsi, $\left[\frac{Cm^*}{CM^0} - 1 \right]$ mesure l'augmentation du coût d'un déplacement avec l'imposition de la taxe optimale. Cm^* est calculé à partir de la situation actuelle, de la réduction de V et de β .

Donc il faut résoudre :

$$x = \pi * \left[\frac{Cm^*}{CM^0} - 1 \right] = \frac{\pi * [f^* + Cm^{c0} - f^0 - CM^{c0}]}{f^0 + CM^{c0} - \pi \beta Cm^{c0}}. \quad (16)$$

Où x est la variation du volume pour atteindre V^* . Cm^* est le coût marginal total au niveau de trafic optimal V^* qui sera payé par l'automobiliste lorsqu'il y aura internalisation. CM^0 est le coût payé actuellement sans internalisation et au volume de trafic initial V^0 .

Avec l'ajustement de la taxe pigouvienne, il y a une réduction de 6,25% du volume. Avec cette réduction, nous pouvons calculer le coût moyen et marginal au niveau V^* . La portion congestionnée du coût moyen est calculée de la façon suivante :

³⁶ 68% des véhicules légers sont des automobiles, le reste sont des camions légers (SAAQ, 2013). Les automobiles sont par hypothèse 50% des compactes et 50% des berlines.

$$CM^{c*} = (1 + 4 * (-0.0625)) * 0,0742 = 0,0556 . \quad (17)$$

Ainsi, le coût moyen est le coût marginal au niveau V^* est :

$$CM^* = 0,9096 + 0,0556 = 0,9653 . \quad (18)$$

Nous réalisons le même exercice avec le coût marginal :

$$Cm^{c*} = (1 + 4 * (-0,0625)) * 0,3709 = 0,2782 \quad (19)$$

$$Cm^* = 0,9096 + 0,2782 = 1,1878 . \quad (20)$$

La taxe pigouvienne de congestion au niveau optimal est l'écart entre Cm^* et CM^* , soit 0,2225\$/km.

A3 - Valeur de la vie humaine et valeur du temps

Pour déterminer la valeur d'un bien marchand, la démarche est normalement plutôt simple. En l'absence de distorsion, le prix d'équilibre sur le marché reflète la valeur sociale (à la marge) de ce bien. Par contre, certains biens ne sont pas transigés sur un marché de sorte qu'il est nécessaire de recourir à d'autres approches pour déterminer leur valeur. C'est le cas notamment de la vie humaine et du temps.

Établir une valeur pour la vie humaine est nécessaire pour notre analyse et cela afin d'évaluer les coûts externes des accidents. Quant à la valeur du temps, ce paramètre est requis pour évaluer les coûts de congestion. Évidemment, il peut paraître audacieux de quantifier monétairement la vie humaine ou le temps. Ce type d'évaluation entraîne son lot de considérations éthiques. Pourtant, il existe des méthodes d'analyses économiques reconnues pour réaliser cette tâche.

Comme pour les biens marchands, la valeur d'un bien non marchand est déterminée soit par le consentement à payer (CAP) pour ce bien, ou encore par le consentement à recevoir (CAR) pour y renoncer. La difficulté c'est bien

entendu que ces valeurs ne se révèlent pas dans un marché. Pour pallier à cette difficulté, les deux techniques principalement utilisées pour évaluer le CAP (ou le CAR) sont la méthode des préférences révélées et celle de l'évaluation contingente.

La méthode des préférences révélées repose sur le principe qu'il est possible de déduire la valeur implicite de biens non marchands en observant le comportement des agents dans certains marchés qui sont liés aux biens non marchands. Ainsi par exemple, il est possible de déduire la valeur implicite de la vie en examinant le lien entre le niveau de salaire et le risque de décès à la suite d'un accident de travail.

Cette méthode peut aussi être utilisée pour déterminer la valeur du temps. Par exemple, l'analyse des choix de mode de transport permet de déduire la valeur du temps en analysant l'arbitrage entre le temps de déplacement et le coût monétaire des différents modes.

La méthode d'évaluation contingente est beaucoup plus directe puisqu'il s'agit de sonder directement les individus sur leur consentement à payer pour réduire leur exposition à un risque de mortalité, ou pour gagner du temps lors d'un déplacement. Si cette méthode a l'avantage d'être plus directe, elle est aussi plus hypothétique puisque les individus sondés ne doivent pas effectivement débourser le CAP qu'ils ont déclaré.

Ces approches ont été abondamment utilisées pour évaluer la VVS et la VDT. Dans une revue de la littérature sur VVS de la sécurité routière, Dionne et Lanoie (2004) revoyent 85 études qui présentent des VVS variant entre 0,16 et 33 millions en dollars canadiens de 2000. Cet écart souligne bien toute l'incertitude et la complexité d'une telle évaluation.

De son côté, la littérature sur la VDT utilise typiquement le salaire brut pour les déplacements au travail. La VDT est plus faible pour les déplacements à d'autres fins comme le loisir ou les études (Parry, 2009a). Par contre, en période de congestion intense, elle pourrait être supérieure étant donné les inconforts liés à ce type de conditions (Wardman, 2001).