

HEC MONTRÉAL

**Programme de rabais à l'achat ou à la location d'un véhicule électrique neuf : une
analyse coûts-bénéfices**

par

Xavier Mercier

Sciences de la gestion

(Économie Appliquée)

Mémoire présenté en vue de l'obtention

du grade de maîtrise ès sciences

(M. Sc.)

Avril 2014

© Xavier Mercier, 2014

Sommaire

Depuis le 1^{er} janvier 2012, un programme de rabais à l'achat ou à la location de véhicules électriques neufs existe au Québec. Ce dernier peut permettre de bénéficier de rabais allant jusqu'à 8 000\$ à l'achat de véhicules entièrement électriques ou hybrides rechargeables. L'importance du rabais dépend de la taille des batteries équipant le véhicule. Ce programme a été implanté afin d'inciter les consommateurs à acheter de tels véhicules en diminuant le coût relié à leur achat. Avec un impact environnemental moins important que les véhicules à motorisation traditionnelle, une plus grande adoption de ces véhicules par les consommateurs permettrait à l'ensemble des Québécois de bénéficier de la diminution des émissions atmosphériques liée à leur utilisation. Toutefois, compte tenu de l'ampleur des rabais par véhicule, on peut se questionner sur la rentabilité économique de ce programme. C'est pourquoi nous avons décidé d'effectuer une analyse coûts-bénéfices de celui-ci qui permet d'aller plus loin qu'une analyse financière de la question en tenant compte des bénéfices sociaux des polluants évités grâce au programme. Dans le cadre de notre analyse, nous avons tenu compte des coûts des rabais, de l'administration du programme et de l'électricité supplémentaire consommée par les véhicules qui ont été achetés grâce au programme. Quant aux bénéfices considérés, ce sont le carburant économisé grâce à ces mêmes véhicules, la diminution des émissions polluantes et la réduction du nombre de changements d'huile requis par ceux-ci. Un questionnaire d'évaluation contingente a été élaboré dans le but de déterminer les probabilités d'achat de véhicules électriques à différents niveaux de coûts et de bénéfices. Ceci nous a permis d'estimer les portions des demandes de véhicules hybrides rechargeables et de véhicules entièrement électriques attribuables au programme. Nous avons trouvé que ce sont 46,6% des véhicules hybrides rechargeables et 50,08% des véhicules entièrement électriques depuis 2012 qui ont été achetés grâce au programme.

Avec toutes ces informations, nous avons déterminé la valeur actualisée nette de ce programme avec différents scénarios de pourcentage du kilométrage des véhicules hybrides rechargeables (VHR) qui se fait à l'aide du moteur électrique et avec des taux d'actualisation de 6%, 8% et 10%. Nous avons aussi vérifié l'effet de modifier l'horizon

temporel sur lequel nous analysons les effets du programme sur le signe de la valeur actualisée nette en plus d'examiner la rentabilité économique du programme lorsque l'on ne considère pas les bénéfices intangibles qui lui sont liés. Une analyse du seuil où le coût marginal des fonds du Gouvernement du Québec rend la VAN nulle dans le cadre de différents scénarios a aussi été réalisée.

Dans les cas où nous considérons un horizon temporel d'au moins 7 ans, le programme semble être économiquement avantageux pour la population québécoise avec un taux d'actualisation utilisé de 8%. Aussi, nous trouvons une valeur actualisée nette se situant entre une perte de près de 200 000 dollars et un gain de plus de 880 000 dollars lorsque nous faisons varier conjointement les hypothèses sur le taux d'actualisation et sur le pourcentage du kilométrage électrifié des véhicules hybrides rechargeables en considérant les principaux bénéfices liés au programme. Toutefois, le programme est toujours rentable économiquement lorsqu'au moins 70% du kilométrage des VHR est électrifié, ce qui est une hypothèse réaliste compte tenu du fait que le kilométrage quotidien moyen effectué par les Québécois est plus petit que l'autonomie moyenne en mode électrique des VHR pondérée par leur présence sur nos routes.

Table des matières

SOMMAIRE.....	I
Remerciements	VII
1. INTRODUCTION.....	1
2. MISE EN SITUATION	6
2.1 Plan d'action 2011-2020 sur les véhicules électriques	6
2.2 Programme de rabais à l'achat ou à la location d'un véhicule électrique neuf.....	9
3. REVUE DE LITTÉRATURE	12
3.1 Évaluation de programmes.....	12
3.2 Méthodes directes.....	14
3.2.1 Méthodes de préférences exprimées	15
3.3 Méthodes indirectes	19
3.3.1 Méthode des prix hédoniques	20
3.3.2 Méthode des coûts de transport.....	20
3.3.3 Méthode des coûts de prévention et de défense	22
3.4 Évaluation des probabilités d'achat	22
3.5 Valeur des dommages causés par les polluants atmosphériques	25
3.6 Transfert de bénéfices environnementaux	28
4. HYPOTHÈSES DE TRAVAIL ET MÉTHODOLOGIE.....	30
4.1 Population d'intérêt.....	30
4.2 Horizon temporel	31
4.3 Évaluation des impacts environnementaux des polluants	33
4.3.1 Quantification des émissions	33
4.3.2 Coûts sociaux des polluants	35
4.3.3 Transfert de valeurs environnementales.....	36
4.4 Évaluation des coûts et bénéfices non-environnementaux	39
4.4.1 Bénéfices tangibles.....	40
4.4.2 Bénéfices intangibles	42
4.4.3 Coûts	42
4.5 Évaluation des probabilités d'achat	44
4.6 Actualisation	47

5. ESTIMATION DES COÛTS	50
5.1 Coûts des rabais	50
5.2 Coûts d'administration	52
5.3 Coûts de l'électricité supplémentaire utilisée	54
5.4 Coûts totaux	57
6. ESTIMATION DES BÉNÉFICES	59
6.1 Exercice de validité	59
6.1.1 Représentativité de l'échantillon	60
6.1.2 Définition des variables	64
6.1.3 Attentes	65
6.1.4 Modèles estimés et résultats	70
6.2 Bénéfices tangibles	77
6.2.1 Économies d'essence	78
6.2.2 Changements d'huile	80
6.3 Bénéfices intangibles	82
7. VALEUR ACTUALISÉE NETTE	86
7.1 Scénario de base	86
7.2 Scénarios alternatifs	87
7.2.1 Taux d'actualisation et électrification du kilométrage des VHR	87
7.2.2 Horizon temporel	88
7.2.3 Scénario avec valeurs des émissions nulles	89
7.2.4 Ventes attribuables au programme	91
7.2.5 Points morts du CMF	92
8. CONCLUSION	95
BIBLIOGRAPHIE	99
ANNEXE 1	104
ANNEXE 2	108
ANNEXE 3	118
ANNEXE 4	119
ANNEXE 5	120

Liste des graphiques et tableaux

Graphiques :

Graphique 1 : Ventes mensuelles de VHR et VEE aux États-Unis de septembre 2011 à septembre 2013	3
Graphique 2 : Distribution de l'âge des individus dans la population québécoise et dans l'échantillon.....	61
Graphique 3 : Derniers niveaux de scolarité atteints dans la population et dans notre échantillon	63

Tableaux :

Tableau 1 : Rabais à l'achat en fonction de la capacité de la batterie.....	10
Tableau 2 : Récapitulatif des coûts et bénéfices considérés	44
Tableau 3 : Rabais accordés en 2011-2012 et 2012-2013.....	51
Tableau 4 : Coûts des rabais pour 2012	51
Tableau 5 : Sommaire des coûts des rabais et de l'administration du programme	54
Tableau 6 : Nombre de VHR et VEE immatriculés au Québec en date du 31 décembre 2012 et leurs consommations d'électricité	56
Tableau 7 : Ensemble des coûts	57
Tableau 8 : Comparaison des variables sociodémographiques.....	60
Tableau 9 : Signes attendus des variables	65
Tableau 10 : Modèles estimés	70
Tableau 11 : Résultats (Coefficients (écart-type))	72
Tableau 12 : Litres d'essence économisés annuellement.....	79
Tableau 13 : Bénéfices liés à la diminution dans la fréquence des changements d'huile	81
Tableau 14 : Émissions des différents types de véhicules	82
Tableau 15 : Coûts marginaux sociaux des émissions	83
Tableau 16 : Bénéfices annuels totaux liés à la diminution des émissions.....	85

Tableau 17 : Coûts, bénéfices et VAN dans le cadre du scénario de base.....	87
Tableau 18 : VAN du projet en fonction du taux d'actualisation et de l'électrification du kilométrage des VHR	88
Tableau 19 : VAN en fonction de l'horizon temporel considéré	89
Tableau 20 : VAN du programme avec des valeurs de diminution d'émissions nulles	90
Tableau 21 : VAN en fonction de la portion des ventes attribuable au programme	91
Tableau 22 : Points morts du CMF en fonction du taux d'actualisation et de l'électrification du kilométrage des VHR.....	93

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mes directeurs Paul Lanoie et Justin Leroux pour le temps et la confiance qu'ils m'ont accordé depuis le début de ce projet de mémoire. Leurs conseils, idées et intuitions m'ont été d'une très grande aide à chaque étape importante de ce projet. Malgré leurs nombreuses responsabilités, ils ont su me consacrer de leur temps tout au long de cette année et je leur en suis très reconnaissant.

Aussi, je veux remercier mes collègues à la maîtrise à HEC Montréal et les professeurs qui ont su me garder captivé par l'étude de l'économie appliquée et créer un climat propice à l'apprentissage. Je tiens particulièrement à remercier mes collègues et amis Olivier, Louis et Alexandre qui ont réussi à me garder motivé durant ces mois de recherche et ces dernières années d'étude.

De plus, je tiens à remercier mes parents et mes frères qui m'ont soutenu durant toutes mes études. Sans leur soutien, je ne me serais probablement pas rendu aussi loin. J'ai aussi pu apprendre tout au long de mes études que c'est l'effort continu, plutôt que la force brute ou l'intelligence, qui est la clé pour exploiter son potentiel.

Je souhaite aussi remercier Marie Allard pour m'avoir offert, durant la session d'automne 2013, un poste d'auxiliaire d'enseignement dans le cours qui a été celui que j'avais le plus apprécié lors de mon baccalauréat à HEC Montréal.

Finalement, je veux remercier les membres du jury qui ont accepté de prendre le temps de lire et corriger ce mémoire.

1. Introduction

Le secteur des transports est présent dans le quotidien de tous. Toutefois, les déplacements, s'effectuant avec des véhicules à essence, ont un coût non-négligeable pour la société avec les dommages environnementaux qui leur sont associés. Certes, l'émission de polluants reliée à la combustion de carburants fossiles représente un effet négatif de l'utilisation de l'automobile. Donc, les véhicules qui nous entourent et nous aident tant d'un côté viennent aussi nuire à notre santé et à notre atmosphère avec les polluants et gaz à effet de serre qu'ils émettent d'un autre.

Avec la demande toujours grandissante pour le pétrole, on constate que le prix de l'essence ne cesse d'augmenter au fil du temps. De plus, les véhicules de promenade à essence, représentant 98,2% des véhicules de promenade du Québec, sont des moyens de transport qui émettent des gaz à effet de serre (GES) ainsi que divers autres polluants atmosphériques. On constate, dans la population, un vent de conscientisation quant à la nature polluante de ces véhicules que l'on négligeait lors du siècle dernier. Ainsi, avec cette conscientisation environnementale grandissante et un prix à la pompe qui ne cesse d'augmenter, les manufacturiers automobiles se sont mis à offrir des véhicules plus écoénergétiques avec des modes de propulsion alternatifs, que ce soit à l'aide de l'électricité seulement ou même de l'électricité assistée d'un moteur à essence.

Les véhicules hybrides rechargeables (VHR) et les véhicules entièrement électriques (VEE) constituent donc un moyen de locomotion relativement récent. Ces véhicules plus écoénergétiques étaient absents avant l'arrivée de la Leaf de Nissan en 2011. En effet, une infrastructure omniprésente entourant l'entretien et le ravitaillement des véhicules représente un des avantages importants que le véhicule traditionnel possède par rapport aux VHR et VEE dont le réseau de recharge est peu développé. Toutefois, avec l'arrivée des premiers véhicules hybrides traditionnels qu'on ne peut recharger à l'aide d'une prise de courant au cours des 15 dernières années, on a pu voir apparaître dans le secteur de

l'industrie automobile des technologies visant à réduire la dépendance des automobilistes envers l'essence, incluant ceux dont nous parlons plus haut.

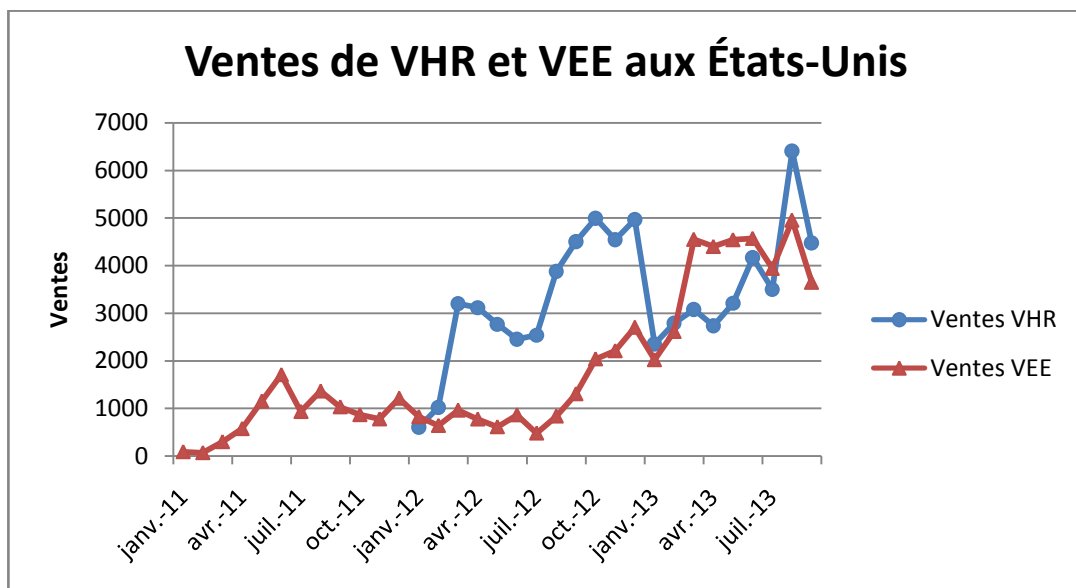
Ainsi, les parts de marché des VEE et VHR, même si elles restent bien inférieures à celles des véhicules à essence, ont quand même beaucoup augmenté depuis 2000. Par exemple, les parts des véhicules hybrides traditionnels parmi les véhicules de promenade, selon des données de la SAAQ sur le nombre de véhicules en circulation selon le type d'utilisation, le type de véhicule et le type de carburant de 2000 à 2012, sont passées de 0,0005% en 2000 à 0,37% en 2012. Ceci représente une augmentation de presque 760 fois des parts de marché des véhicules hybrides en 12 ans. Il est à noter que les véhicules hybrides sont les véhicules écoénergétiques les plus connus auxquels on associe souvent la Toyota Prius et la Honda Civic Hybride. Ils se différencient des VHR par le fait qu'ils ont des batteries de moins grande capacité leur permettant d'effectuer moins de kilomètres en mode électrique et ne pouvant être chargées dans une prise de courant afin de pouvoir regagner de l'autonomie en mode électrique.

Quant aux véhicules entièrement électriques, leur nombre a aussi beaucoup augmenté depuis, alors qu'on ne retrouvait aucun véhicule hybride rechargeable sur les routes en 2000. Puisqu'ils ne sont offerts par les grands manufacturiers automobiles que depuis environ trois ans, les VEE et VHR n'ont pas encore eu le temps de se faire une place sur le marché de l'automobile. On retrouvait, en date du 31 décembre 2012, 1 136 VEE et VHR immatriculés sur les routes du Québec selon des données recueillies par Juteau (2013). Malgré une présence relativement récente de ces véhicules sur la route par rapport aux véhicules traditionnels, on peut quand même s'attendre à une croissance importante des ventes dans ce secteur de l'industrie automobile, compte tenu du prix du pétrole qui ne cesse d'augmenter et du prix des composants de ces véhicules qui continue de diminuer au fil du temps¹, ce qui les rendra plus accessibles pour le consommateur moyen. Avec un tel potentiel de croissance, il est important d'examiner les enjeux liés à ces automobiles et aux subventions leur étant reliées. Aux États-Unis, on a pu remarquer une croissance importante

¹ Dinger et al. (2010) du Boston Consulting Group prévoient que le prix que les constructeurs automobiles paient pour les batteries de type Nickel-Cobalt-Aluminium devrait baisser de 60 à 65% de 2009 à 2020.

des ventes de véhicules à vocation écoénergétique. Le graphique suivant donne un aperçu du nombre de VHR et de VEE sur les routes en fonction du temps. Il montre très bien une tendance générale croissante dans les ventes mensuelles de VHR et VEE aux États-Unis depuis 2011 :

Graphique 1 : Ventes mensuelles de VHR et VEE aux États-Unis de janvier 2011 à septembre 2013



Source : Electric Drive Transportation Association

Présentement, le Gouvernement du Québec a mis en place un programme de rabais à l'achat ou à la location de véhicules électriques neufs². En 2012 et 2013, ce programme accorde jusqu'à 8 000\$ de rabais à l'achat de ces véhicules. Ce dernier n'est pas le premier de ce type en Amérique du Nord puisque l'on retrouve des programmes semblables dans la plupart des autres provinces du Canada et aux États-Unis. Par exemple, en Ontario, depuis le 1^{er} juillet 2010, les particuliers et entreprises sont éligibles à un rabais allant de 5 000\$ à 8 500\$ à l'achat de VHR ou de VEE pour les 10 000 premiers véhicules qualifiés selon le site de Mobilité Électrique Canada. De plus, aux États-Unis, il existe un crédit d'impôt

² Comprend à la fois les VHR et les VEE. Le rabais accordé dépend de la taille des batteries installées.

fédéral pour les véhicules hybrides rechargeables et pour les véhicules entièrement électriques. Le crédit d'impôt peut aller de 2 500\$ à 7 500\$ pour les véhicules hybrides rechargeables et il est de 7 500\$ pour tous les véhicules électriques admissibles.

Donc, compte tenu de la présence de tels programmes dans autant d'endroits différents, on pourrait, à première vue, croire qu'il s'agit d'une pratique rentable pour la société, car on voudrait que le gouvernement examine attentivement tous les programmes avant de les mettre en place. Toutefois, un bon moyen de s'en assurer est d'effectuer une analyse coûts-bénéfices du programme qui permettra de trouver sa valeur actualisée nette pour l'ensemble de la société québécoise. Une telle analyse, en plus de déterminer la rentabilité économique du programme, permettrait aussi d'estimer un montant optimal de subvention à accorder, si celui en place ne l'est pas déjà. Après avoir analysé la littérature, il a été possible de constater qu'aucune analyse de ce type n'a été effectuée pour le contexte spécifique du Québec où la relation avec l'électricité est bien différente d'ailleurs au Canada et aux États-Unis³ puisque la majorité de notre électricité provient de sources renouvelables et qu'elle est relativement abordable.

Certes, compte tenu de la nature récente des VHR et VEE, la littérature portant spécifiquement sur ces véhicules est peu garnie. Toutefois, on peut retrouver plusieurs articles qui analysent les effets des subventions pour les véhicules hybrides traditionnels. Plusieurs auteurs arrivent à estimer l'impact des subventions sur les ventes de véhicules hybrides ainsi que les effets d'autres facteurs comme le prix de l'essence et les préférences sociales sur les ventes de ces véhicules. Obtenir des estimés semblables pour les VHR et VEE serait un élément important dans le cadre d'une analyse coûts-bénéfices du programme de rabais à l'achat ou à la location de véhicules électriques neufs du Gouvernement du Québec. Nous utiliserons le transfert de bénéfices environnementaux

³ On retrouve dans la littérature le mémoire de maîtrise de William R. Fuqua soumis au Rochester Institute of Technology en 2012 portant le titre de « Cost Benefit Analysis of the Federal Tax Credit for Purchasing an Electric Vehicle ». Ce mémoire diffère principalement du nôtre par le fait que l'auteur recherche un ratio avantages coûts plutôt qu'une valeur actualisée nette en plus de ne pas tenir compte de la variation de la demande induite par le programme. Il est à noter que nous ne nous référons pas à ce mémoire dans le cadre de cette analyse.

comme technique d'évaluation des bénéfices liés aux diminutions d'émissions atmosphériques tout en s'assurant qu'il soit le plus valide possible afin d'estimer ces derniers. Ces valeurs et le taux d'actualisation subiront une analyse de sensibilité afin de tester la robustesse des résultats obtenus lorsque l'on fait varier d'importantes hypothèses. Donc, à la lumière de cette analyse coûts-bénéfices, nous pourrions avoir une vue globale de la rentabilité économique du programme de rabais à l'achat ou à la location de véhicules électriques neufs du Gouvernement du Québec en 2012 et de ce qui l'influence.

Cette analyse en entier pourra avoir une utilité en termes de politiques publiques puisque le programme analysé continuera d'exister jusqu'à la fin de 2016 et des informations sur sa rentabilité économique ne peuvent qu'aider dans le processus de décision quant à la continuation ou non du programme. Aussi, du côté scientifique, il n'existe présentement aucune étude sur la rentabilité des VHR et VEE au niveau du Québec. Compte tenu du faible coût de l'électricité au Québec, il s'avère intéressant d'effectuer une première étude sur la rentabilité économique du programme de rabais québécois à l'achat de VEE et VHR.

La deuxième section de ce mémoire portera sur le programme de rabais étudié et présentera les différents véhicules disponibles sur le marché. Dans la troisième section, on retrouvera une revue de la littérature concernant principalement l'évaluation de programmes, les méthodes d'évaluation de biens tangibles et intangibles, l'évaluation contingente et le transfert de valeurs environnementales. La section 4 présentera les hypothèses posées et la méthodologie utilisée pour estimer la variation de la demande causée par la subvention ainsi que les autres techniques d'évaluation et d'actualisation. Les sections 5 et 6 présenteront les coûts et bénéfices liés au programme. La section 7 présentera la valeur actualisée nette associée aux coûts et bénéfices du programme. En dernier lieu, dans la section 8, on retrouvera la conclusion de ce mémoire.

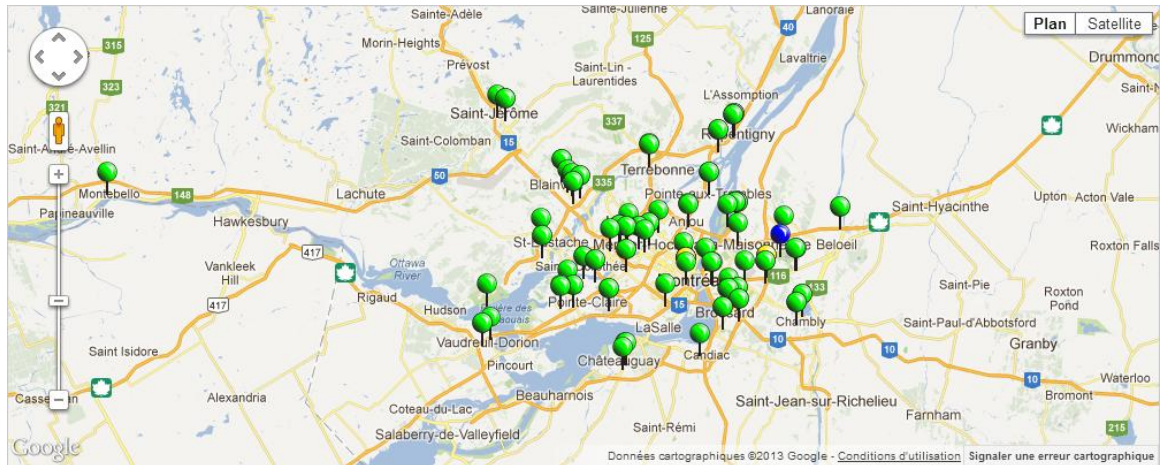
2. Mise en situation

2.1 Plan d'action 2011-2020 sur les véhicules électriques

En 2011, le Gouvernement du Québec a mis en place un plan d'action afin de promouvoir l'électrification dans les transports terrestres. Ce plan s'articule autour de quatre axes principaux qui sont d'informer les utilisateurs potentiels et les encourager à se tourner vers les motorisations hybrides et électriques, d'accélérer le déploiement des véhicules électriques, d'utiliser l'électricité comme source d'énergie en matière de transports collectifs et d'appuyer la filière industrielle électrique. Certes, substituer une partie de l'utilisation d'énergie fossile contre de l'énergie propre, comme l'hydro-électricité que l'on produit en grande quantité au Québec, pourrait être bénéfique à la fois pour les consommateurs et pour l'environnement. Parmi ces quatre axes, ce sont principalement les deux premiers, reliant les consommateurs et les véhicules hybrides et électriques, qui nous intéressent.

Avec l'arrivée de véhicules électriques sur le marché vient un certain questionnement par rapport au réseau de recharge et à son importance. Hydro-Québec, en 2009, a mis en place un plan stratégique de développement durable s'étalant de 2009 à 2013 dans lequel il tient compte des véhicules électriques. Dans ce dernier, la compagnie d'État promeut un soutien financier au développement d'infrastructures électriques pour les transports collectifs, le développement et la commercialisation de technologies de pointe, des essais de véhicules électriques rechargeables sur route et en interface avec le réseau électrique et la planification de l'infrastructure de soutien pour la recharge de véhicules. De plus, il existe déjà un réseau de recharge développé par plusieurs entreprises et institutions parapubliques et publiques afin de permettre, dans des zones urbaines principalement, aux utilisateurs de recharger leurs véhicules hybrides rechargeables (VHR) ou leurs véhicules entièrement électriques (VEE) à un coût fixe de 2,50\$ par recharge. Ce réseau, appelé le *Circuit électrique*, n'est pas aussi important que le réseau de stations service québécois, mais on

peut lire sur le site du gouvernement du Québec lié aux véhicules électriques que « le rythme de déploiement de bornes de 240 volts et de bornes de recharge encore plus rapides (400 volts) sera modulé en fonction de l'arrivée des véhicules électriques sur les routes du Québec.»



Stations de recharge liées au *Circuit électrique* dans la région métropolitaine de Montréal

Il existe aussi des stations de recharge dans les centres commerciaux n'étant pas reliées au *Circuit électrique* afin d'attirer la clientèle possédant des véhicules électriques. Dans la ville de Repentigny, entre autres, on peut constater qu'il y a quatre places réservées à ce type de véhicule dans le centre commercial des Galeries Rive-Nord en plus des places liées au réseau du *Circuit électrique*.



Galleries Rive-Nord, Repentigny : Espaces réservés à la recharge de véhicules électriques

Malgré la présence de près de 250 points de service à 240 volts liés au *Circuit électrique* (Circuit électrique, 2014), les véhicules électriques sont principalement rechargés dans les lieux de résidence des propriétaires et dans les lieux de travail puisque ce sont les endroits où les gens passent le plus de temps en dehors de leur véhicule. Dans le plan d'action du Gouvernement du Québec sur les véhicules électriques, on retrouve une portion d'aide financière pour l'installation de bornes de recharge de 240V en milieu de travail ou résidentiel.

On constate donc qu'il y a plusieurs mesures déjà en place afin de s'assurer que les véhicules électriques et hybrides rechargeables présents sur nos routes puissent être rechargés dans les milieux urbains et il faudrait seulement qu'il y ait plus de véhicules électriques sur nos routes pour que le réseau de recharge s'étende. Certes, en dehors de la résidence ou du travail, le temps de recharge peut être un obstacle à l'adoption de véhicules électriques puisqu'il faut de 3 à 4 heures pour recharger complètement un VHR et de 6 à 8 heures pour un VEE avec une borne de recharge de 240V. Toutefois, des bornes de recharge rapide à courant continu (400V et plus) sont présentement en développement et, dépendamment des coûts qui leur sont liés, nous pourrions les voir arriver dans le paysage éventuellement. Ce genre de borne permettrait à un véhicule électrique de parcourir 50 km

avec une recharge d'environ 10 minutes seulement. Avec de telles bornes, le problème lié au temps de recharge en dehors du domicile deviendrait bien moins important et l'adoption des VEE et VHR serait grandement facilitée. Toutefois, celles-ci ne sont pas encore disponibles et ne peuvent pas vraiment influencer les décisions d'achat actuelles des consommateurs puisque la plupart d'entre eux ne connaissent pas le milieu des véhicules électriques, ni les développements récents de cette industrie.

Quant à la croissance du secteur des VEE et VHR, c'est une des directions que prend actuellement l'industrie automobile petit à petit. Certes, il est possible d'observer dans un article de Sébastien Templier (2013) des prévisions plutôt optimistes avec des taux de croissance annuelle des ventes de 18,6% et de 30,6% pour le segment des VHR et VEE dans les dix prochaines années pour les États-Unis et le Canada respectivement.

2.2 Programme de rabais à l'achat ou à la location d'un véhicule électrique neuf

Dans le plan d'action du Gouvernement du Québec 2011-2020 sur les véhicules électriques, c'est le volet du programme de rabais à l'achat ou à la location d'un véhicule électrique neuf qui nous intéressera. C'est un programme qui s'étale du 1^{er} janvier 2012 au 31 décembre 2015 à travers lequel le Gouvernement du Québec accorde un rabais à l'achat variant selon la puissance de la batterie du véhicule aux acheteurs de véhicules électriques qui devait, en premier lieu, aller jusqu'à 8 000\$ en 2012 et 2013 à 4 000\$ en 2014 et 3 000\$ en 2015. Toutefois, en date du 1^{er} novembre 2013, le Gouvernement du Québec a annoncé une *Stratégie d'électrification des transports 2013-2017* dans laquelle il indique que le montant maximal accordé à travers le programme de rabais actuel restera de 8 000\$, et ce, jusqu'au 31 décembre 2016. De plus, le programme change de nom pour porter le nom de *Programme Roulez électrique*. Normalement, le programme devait se terminer lorsque 10 000 VEE ou VHR auraient bénéficié du rabais. Dans le contexte actuel, il tirera à sa fin quand les fonds qui lui sont alloués seront épuisés ou en date du 31 mars 2017, selon la première échéance à survenir. Ce ne sont que les véhicules immatriculés entre le 1^{er} novembre 2013 et le 31 décembre 2016 qui seront admissibles à ce programme. Toutefois,

ces modifications dans le cadre du programme ne compromettent pas la qualité de cette étude puisque nous analyserons l'ensemble des coûts et des bénéfices liés au programme pour l'année 2012 seulement. Quant à la raison d'avoir implanté le programme de rabais initial en 2012, c'est qu'il remplace un programme de crédit d'impôt remboursable de 2 000\$ pour les acheteurs de véhicules hybrides et 4 000\$ pour les véhicules électriques à basse-vitesse qui était en vigueur depuis 2009. Il reste qu'un programme de crédit d'impôt est moins efficace qu'un programme de rabais à l'achat en termes d'incitatifs pour les consommateurs (Gallagher et Muehlegger, 2008). L'aide accordée⁴ aux véhicules entièrement électriques et aux véhicules hybrides rechargeables selon la capacité de la batterie lors de la période qui nous intéresse est représentée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Rabais à l'achat en fonction de la capacité de la batterie

CAPACITÉ DE LA BATTERIE (KWH)	AIDE FINANCIÈRE				
	DU 1 ^{er} JANVIER AU 31 DÉCEMBRE 2012 (\$)	DU 1 ^{er} JANVIER 2013 AU 31 JANVIER 2014 (\$)	DU 1 ^{er} FÉVRIER AU 31 DÉCEMBRE 2014 (\$)	DU 1 ^{er} JANVIER AU 31 DÉCEMBRE 2015 (\$)	DU 1 ^{er} JANVIER AU 31 DÉCEMBRE 2016 (\$)
4	5 000	4 500	4 000	500	500
5	5 231	4 769	4 000	500	500
6	5 462	5 038	4 000	500	500
7	5 692	5 308	4 000	4 000	500
8	5 923	5 577	4 000	4 000	500
9	6 154	5 846	4 000	4 000	500
10	6 385	6 115	4 000	4 000	4 000
11	6 615	6 385	4 000	4 000	4 000
12	6 846	6 654	4 000	4 000	4 000
13	7 077	6 923	4 000	4 000	4 000
14	7 308	7 192	4 000	4 000	4 000
15	7 538	7 462	8 000	8 000	8 000
16	7 769	7 731	8 000	8 000	8 000
17 ou plus	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000

On voit facilement, dans ce tableau provenant du cadre normatif du *Programme Roulez Électrique*, qu'un véhicule avec de plus grosses batteries bénéficiera d'un plus grand rabais. C'est pourquoi presque⁵ tous les VEE bénéficient des 8 000\$ de rabais au complet, alors

⁴ Aide accordée dans le cadre du programme de rabais à l'achat ou à la location d'un véhicule électrique neuf. L'information concernant le programme *Roulez électrique*, soit celle pour la période suivant le 1^{er} février 2014 n'est pas pertinente dans le cadre de notre analyse.

⁵ Seule la Mitsubishi i-MiEV parmi les VEE, avec ses batteries de 16 kWh, n'a pu bénéficier du rabais de 8 000\$ au complet en 2012 et 2013. Les acheteurs de ce modèle ont plutôt pu bénéficier du même rabais que les acheteurs de la Chevrolet Volt qui possède aussi des batteries de 16 kWh.

que les VHR bénéficieront de rabais moins importants selon la taille de leur batterie en 2012 et 2013.

3. Revue de littérature

3.1 Évaluation de programmes

L'évaluation de programmes ou de politiques publiques représente une des utilisations importantes de l'analyse coûts-bénéfices dans les différentes instances publiques. Certes, quand on veut mettre un programme ou une politique en place, la question de savoir s'il en vaut la peine de le faire est primordiale.

Un des critères pouvant contribuer aux décisions quant à un programme est celui de sa rentabilité économique. La rentabilité économique, en tant que critère de décision, est différente de la rentabilité comptable. Certes, les deux tiennent compte de tous les flux monétaires tangibles associés au programme, mais l'évaluation comptable ne tient pas compte d'éléments intangibles qui ne devraient pas être négligés. L'avantage d'une analyse coûts-bénéfices est qu'elle permet de tenir compte des externalités liées au programme évalué. La présence d'externalités est la principale raison pour laquelle on voudrait effectuer une analyse coûts-bénéfices pour s'assurer que les ressources soient allouées de manière efficace (Brent, 2009).

Toutefois, plusieurs disent que la rentabilité économique du programme ne devrait pas être le critère de décision ultime pour soutenir une décision. Ces mêmes personnes voient la monétisation qui a lieu dans l'analyse coûts-bénéfices comme une tentative indésirable de placer un prix sur tout (Boardman et al., 2006). Certes, en réalité, il ne faut pas seulement regarder le programme sous son angle économique, mais il doit aussi être examiné en vertu de toutes ses autres facettes (e.g. équité, stabilité, éthique,...). Il reste que, en général, il n'est pas du ressort de l'économiste de décider ou non d'aller de l'avant avec un programme. Ce rôle revient aux décideurs publics. Le rôle de l'économiste sera plutôt de fournir au décideur un point de vue neutre de la rentabilité économique globale de la

proposition qu'il aura étudié. Ce point de vue proviendra de la valeur actualisée nette qu'aura calculé l'économiste à la suite de l'analyse coûts-bénéfices.

L'évaluation économique de programme peut avoir lieu à trois moments différents par rapport à l'implantation du programme. Elle peut d'abord être une analyse *ex ante*. Cette approche consiste à analyser les coûts et bénéfices du programme avant que celui-ci soit mis en place. L'avantage d'une telle approche est que l'impact de l'analyse, en termes de politique publique, sera direct, immédiat et spécifique (Boardman et al., 2006). Donc, la pertinence de l'analyse est facile à démontrer pour ces cas. Il est aussi possible d'effectuer l'analyse *ex-post*, soit à la fin du programme. Le principal avantage associé à une telle analyse est la disponibilité des données. Le programme ayant été implanté, il est bien plus facile d'accéder à des données sur ce dernier et il y a moins d'hypothèses à poser par le fait même. Les coûts engendrés étant des coûts irrécupérables, l'utilité de l'analyse *ex-post* ne concernera pas l'intervention étudiée particulièrement, mais offrira plutôt de l'information sur le type d'intervention étudié (Boardman et al., 2006). Par exemple, si une analyse coûts-bénéfices indique que la construction d'une centrale thermique dans une ville particulière est loin d'être rentable pour la société, cela peut fournir une certaine information sur la rentabilité de ce type de centrale dans des villes similaires. Il est aussi possible d'effectuer une analyse pendant l'implantation du programme (*in media res*). Les avantages d'effectuer l'analyse à ce moment précis représentent un mélange des avantages des deux autres techniques. Une partie des données est disponible et il est encore possible d'influencer l'avenir du programme. Comme dans l'analyse *ex-post*, on peut se baser sur des observations plutôt que sur des prévisions, ce qui ajoute de la crédibilité aux résultats obtenus.

L'analyse coûts-bénéfices effectuée dans ce travail de mémoire en est une du programme de rabais à l'achat ou à la location de véhicule électrique neuf qui est toujours en place. Toutefois, nous n'analyserons le programme que pour l'année 2012. Nous ne tiendrons donc pas compte des bénéfices et coûts liés aux véhicules qui se vendent à partir de 2013 compte tenu du fait que les données liés à l'année 2013 ne sont pas encore toutes

disponibles. Les résultats obtenus à partir de 2012 pourront quand même fournir une certaine information quant à la rentabilité du programme pour les années à venir. Donc, bien que l'analyse ait lieu dans un contexte *ex-post*, elle peut toujours avoir une certaine utilité future en termes de politiques publiques.

Ainsi, le but de l'évaluation de programme est de déterminer la valeur économique totale de celui-ci. Cette valeur représente la valorisation de la société du programme et est composée de la valeur d'usage et de la valeur de non-usage. La valeur d'usage d'un bien est la valeur que l'on accorde directement au fait d'utiliser le bien ou de savoir qu'on pourrait l'utiliser. Quant à la valeur de non-usage, il s'agit d'une valeur que l'on accorde au bien même si on sait que l'on ne l'utilisera pas. Elle peut être composée de la valeur qu'on accorde au fait que les autres puissent utiliser le bien et parfois de la valeur que l'on attache à l'existence même du bien s'il s'agit d'un bien qu'on ne peut remplacer.

L'estimation de ces valeurs peut s'avérer difficile, entre autres parce qu'on doit parfois trouver la valeur de biens non-marchands, ce qui est plus compliqué puisque ces derniers ne se transigent pas sur les marchés. Ainsi, il faut choisir parmi un éventail de techniques d'évaluation celle qui convient le plus au bien que l'on veut évaluer. Les techniques d'évaluation d'intangibles principales peuvent se trouver sous deux classifications, soit les méthodes directes et les méthodes indirectes. Nous allons les examiner dans les prochains points de la revue de littérature.

3.2 Méthodes directes

Une des méthodes directes utilisée dans les analyses économiques est celle du coût de remplacement. Celle-ci consiste, tout simplement, à tenir compte des coûts de remplacement d'un bien pour en inférer sa valeur économique. Cela peut être utile, par exemple, dans un cas où il y a un déversement de pétrole qui forcera les agents à encourir

des coûts pour nettoyer la rive et la ramener à son état naturel. Cette méthode peut seulement être appliquée quand on peut remplacer ou réparer le bien intangible évalué. Dans notre cas, l'air ambiant n'étant pas un bien que l'on peut remplacer, cette méthode ne nous sera pas utile.

Une autre méthode directe semblable à celle des coûts de remplacement est la méthode de l'estimation de dommages à un milieu productif. Cette méthode consiste à estimer les effets d'une condition, qu'elle soit contrôlable ou non par l'humain, sur un milieu à travers lequel une production a lieu. On pourrait prendre l'exemple du détournement d'une rivière à proximité de terres agricoles. Ici, un moins bon accès au cours d'eau pourrait rendre les récoltes moins fructueuses en diminuant la qualité de la terre et son rendement. On pourrait, ainsi, obtenir une valeur économique des dommages aux terres qui serait considérée dans une analyse coûts-bénéfices de l'implantation d'un barrage qui nécessiterait de détourner la rivière. Cette méthode ne sera pas utilisée au cours de ce projet de mémoire puisqu'il serait difficile d'obtenir des données quant aux dégâts causés aux milieux productifs par la pollution automobile au Québec. Certes, des données précises sur les sources d'émissions et les dégâts seraient nécessaires pour utiliser une telle approche, ce qui est assez compliqué à estimer ou à obtenir. De plus, beaucoup d'autres facteurs, dont certains ne sont pas déterminés par l'homme, influencent les milieux productifs.

3.2.1 Méthodes de préférences exprimées :

En plus des méthodes de préférences révélées où on cherche à déterminer les impacts économiques d'un intangible en observant les comportements des individus sur les marchés, il existe des méthodes avec lesquelles on cherche à faire révéler leurs préférences aux individus. Par le biais de ces méthodes, on cherche généralement à estimer le consentement à payer des gens pour un projet ou un changement quelconque apporté au statu quo.

Évaluation contingente :

La méthode de préférences exprimées la plus utilisée en évaluation environnementale est l'évaluation contingente. En tant que telle, l'évaluation contingente est une approche d'évaluation plus large qui peut s'appliquer à plus de cas que les autres techniques décrites précédemment, puisqu'on peut l'utiliser pour évaluer presque n'importe quoi. Elle permet de trouver la distribution potentielle de consentements à payer d'une population d'agents économiques pour un changement proposé (Carson et al. 2001). Un des avantages de l'évaluation contingente est qu'elle permet d'obtenir directement la valeur que l'individu accorde au bien. Cette valeur est composée de sa valeur d'usage direct et de sa valeur d'usage indirect. La valeur d'usage indirect n'est généralement pas obtenue avec les méthodes de préférences révélées. En effet, les méthodes de préférences révélées se basent sur la présence d'un marché pour une caractéristique particulière du bien dont on veut mesurer la valeur pour obtenir la portion de la valeur totale du bien correspondant à sa valeur d'usage direct (Carson et al. 2001). Avec la méthode d'évaluation contingente, on crée un marché à travers une mise en situation et on cherche à déterminer ce que les gens sont prêts à payer pour un changement dans ce marché afin d'estimer leur valorisation du bien étudié.

Certes, l'utilisation de l'évaluation contingente a donné lieu à de nombreux débats dans la profession économique. Certains doutent de la validité des résultats obtenus à l'aide d'une évaluation contingente puisque celle-ci se base sur l'hypothèse que les individus comprennent bien le marché construit dans le cadre de l'évaluation et le produit dont il est question, mais d'autres croient plutôt que les résultats obtenus à l'aide d'évaluations contingentes ne diffèrent pas de manière importante de ceux qui auraient été obtenus avec des méthodes de préférences révélées. En effet, Carson, en 1996, a examiné les résultats d'études qui utilisaient l'évaluation contingente pour estimer la valeur économique de certains biens non-rivaux et les a comparés à d'autres études évaluant un bien presque identique, mais qui utilisaient plutôt des méthodes de préférences révélées pour arriver au

résultat désiré. Ainsi, il a trouvé, en examinant 83 études différentes contenant 616 comparaisons entre préférences révélées et exprimées, que les estimés obtenus par évaluation contingente étaient, en général, moins élevés que ceux obtenus par les méthodes de préférences révélées, mais pas de beaucoup (Carson, 1996). Donc, ces deux méthodes, compte tenu du fait qu'il puisse y avoir des erreurs de mesure associées à chacune d'entre elles, semblent converger vers des résultats semblables. Toutefois, Hausman (2012) ne semble pas croire que l'on puisse se fier aux résultats provenant d'évaluations contingentes pour représenter les préférences des individus. Selon lui, les préférences énoncées par les répondants dans le cadre d'évaluations contingentes ne seraient ni stables ni cohérentes et représenteraient des réponses inventées sur le coup plutôt que des expressions de leurs préférences. Hausman, en 1994 avec Peter A. Diamond, croyait déjà que les réponses aux questions posées dans les évaluations contingentes environnementales seraient basées sur peu d'information à cause du temps limité que le répondant prend pour se familiariser avec l'information présentée. Ainsi, Diamond et Hausman jugeaient que les résultats d'évaluations contingentes ne représentaient pas des bonnes bases pour élaborer des politiques publiques de manière informée ou évaluer des dégâts. De son côté, Carson (2012) indique que les différentes manières dont les questions sont formulées dans les évaluations contingentes ont des propriétés différentes en termes d'information transmise et d'incitatifs. Des agents rationnels devraient répondre différemment selon les incitatifs et l'information auxquels ils font face. Il ne serait donc pas surprenant d'obtenir des résultats différents selon les formulations des questions. Certes, Carson avoue que l'évaluation contingente ne représente pas une technique parfaite, mais il reste que l'alternative à celle-ci serait d'attribuer une valeur nulle aux valeurs de non-usage que les gens accorderaient à des biens, ce qui est rarement un bon choix selon Carson.

L'utilisation de l'évaluation contingente semblant être un moyen valide pour obtenir un consentement à payer de la part des agents économiques interrogés, la validité des résultats va quand même beaucoup dépendre de la formulation du questionnaire et de la manière dont les questions seront posées. Dans le but de minimiser les biais liés à la façon dont les questionnaires sont créés et de maximiser la validité des résultats obtenus, malgré qu'il s'agisse de préférences exprimées, Arrow et al. (1993) ont émis des recommandations pour

définir un questionnaire idéal dans le cas d'une évaluation contingente visant à déterminer des compensations éventuelles par rapport à des dégâts ou cherchant à toucher au domaine de la réglementation. Ces recommandations ont été émises par un panel d'experts constitué par la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) dans un rapport publié en 1993 suite au déversement de pétrole sur les côtes de l'Alaska de l'*Exxon Valdez*. L'année suivant le rapport, un des membres du panel d'experts, soit Paul R. Portney, publia un article dans lequel il a retenu les suggestions du rapport du NOAA qui lui semblaient les plus importantes pour que les résultats d'une évaluation contingente puissent être considérés comme étant valides. Donc, les critères retenus sont les suivants (Portney, 1994) :

- 1. Les applications de l'évaluation contingente devraient se faire avec des entrevues en personne plutôt qu'avec des sondages téléphoniques. Les sondages téléphoniques restent, toutefois, préférés aux sondages postaux.*
- 2. Les évaluations contingentes devraient chercher à évaluer la disposition à payer pour éviter un incident futur plutôt que la disposition à recevoir minimale pour un événement ayant déjà eu lieu.*
- 3. Des questions de type référendum devraient être utilisées. Ces questions, où l'on répond soit « oui » ou « non », représentent mieux les choix que les individus font dans la vie de tous les jours que les questions ouvertes.*
- 4. L'évaluation contingente doit commencer par un scénario précis et compréhensible décrivant les effets du programme considéré.*
- 5. L'évaluation contingente doit contenir des rappels au répondant que toute somme indiquée comme disposition à payer viendrait diminuer les sommes qu'il pourrait allouer à autre chose.*
- 6. L'évaluation contingente doit contenir des rappels quant à l'existence de substituts au bien considéré.*
- 7. L'évaluation contingente devrait contenir au moins une question de suivi qui permet de s'assurer que le répondant comprenne bien ce qui lui est demandé.*

Portney remarque aussi qu'un bon nombre des recommandations du NOAA ont pour but de s'assurer que les sondeurs obtiennent des résultats plutôt conservateurs de valeurs d'existence perdues, afin de sous-estimer ces valeurs plutôt que de les surestimer (Portney, 1994). Dans le même article, l'auteur indique que le panel du NOAA a énoncé une aussi longue liste de recommandations pour avoir un guide de bonnes pratiques à utiliser en évaluation. Ces recommandations permettent de s'assurer d'avoir un standard minimal dans la pratique d'évaluation contingente afin de garantir un niveau de qualité plus élevé dans les évaluations futures. Les recommandations ci-dessus seront utilisées dans le cadre de ce mémoire afin de créer un questionnaire sans biais, dans le but d'évaluer les probabilités d'achat des VEE et VHR des individus. Nous décrirons plus tard dans la revue de littérature et la méthodologie les éléments liés à l'évaluation des probabilités d'achat des individus.

3.3 Méthodes indirectes

En plus des méthodes directes, il y a moyen d'observer indirectement la valeur qu'un individu accorde à un intangible en observant son comportement sur un marché connexe à ce bien intangible. Les méthodes de préférences révélées sont des méthodes communément utilisées pour évaluer des biens intangibles. Ce sont des méthodes indirectes qui permettent de trouver la valeur d'un bien en supposant que la valeur attribuée à celui-ci se reflète dans d'autres dépenses indirectement reliées au bien. Un des principaux avantages des méthodes de préférences révélées est que ces dernières permettent de donner des valeurs monétaires à des biens qui ne se transigent pas sur les marchés en observant des comportements réels et, en particulier, des achats effectués sur des marchés observables (Pearce et al., 2006). Ces méthodes n'ont pas été retenues dans ce mémoire puisque les données collectées et disponibles publiquement ne permettent pas de tirer pleinement avantage de celles-ci. Il reste que ce sont des outils très présents dans la littérature de l'analyse économique dont il faut tenir compte lorsqu'il est question d'estimer la valeur d'un bien intangible puisque, avec des données de qualité, elles permettent d'avoir des estimés provenant de transactions qui pourraient vraiment avoir lieu, ce qui ajoute de la crédibilité aux valeurs trouvées.

3.3.1 Méthode des prix hédoniques

Une méthode souvent utilisée est celle des prix hédoniques. Cette méthode permet d'évaluer un attribut ou un changement dans un attribut quand sa valeur est capitalisée dans le prix d'un bien tel qu'une maison. Ainsi, une hypothèse importante, par rapport à cette méthode, est que le prix d'un bien est fonction des différentes caractéristiques qui le composent. Donc, lorsque l'on achèterait une voiture, le prix dépendrait de différents facteurs comme le prestige de la marque, la taille du véhicule, sa consommation d'essence, son niveau de pollution, etc. Aussi, comme mentionné plus tôt, l'illustration de cette hypothèse peut aussi se faire sur une maison, dont la valeur dépendrait du nombre de pièces, de l'emplacement, de la taille du terrain et de plusieurs autres facteurs dont le niveau de pollution. La méthode des prix hédoniques utilise, donc, des méthodes statistiques afin d'estimer le prix implicite de ces caractéristiques (Pearce et al., 2006). Ce faisant, on peut obtenir une valeur de la pollution.

Les marchés, où la méthode des prix hédoniques est principalement utilisée, sont le marché de l'immobilier et le marché du travail. Un bon exemple de son utilisation par rapport au marché immobilier est celui de la détermination du coût économique de la pollution auditive. On peut déduire la valeur du bruit en considérant deux maisons identiques dans deux quartiers différents, où les niveaux de décibels à l'extérieur sont différents. La prime payée pour la maison dans un environnement plus tranquille représenterait la valeur accordée au fait qu'il y ait moins de bruit.

3.3.2 Méthode des coûts de transport

Une des méthodes de préférences révélées couramment utilisée est la méthode d'évaluation par coûts de transport. Cette dernière consiste à donner une valeur à un site en tenant compte des coûts qui ont été encourus par ses visiteurs pour s'y rendre et en profiter. La

plupart des utilisations de la méthode par coûts de transport concernaient la valorisation de sites récréatifs (Boardman et al., 2006). La base de cette méthode provient du fait que les individus produisent leurs activités récréatives à partir de plusieurs intrants. Parmi ces intrants, on peut retrouver les coûts pour accéder au site de l'activité récréative, les coûts engagés pour se déplacer jusqu'à l'emplacement où a lieu l'activité et même les coûts d'hébergement si les individus consommant l'activité restent sur les lieux plus d'une journée (Pearce et al., 2006). En plus des coûts directs comme le carburant et l'usure du véhicule, les coûts de déplacements doivent inclure le coût d'opportunité du temps des individus. Un des aspects importants de cette méthode provient du fait que les coûts totaux pour bénéficier du site varient d'un individu à l'autre puisque les coûts de transport sont différents pour chacun (Boardman et al., 2006). Ainsi, la méthode par coûts de transport proviendrait du fait qu'il existe un lien entre les frais totaux que l'on encourt pour participer à une activité ou se rendre à un lieu et la valeur économique que l'on accorde à ces éléments. Pour que l'individu rationnel accepte de participer à une activité ou d'aller visiter un site particulier, les coûts totaux qu'il encourt ne doivent pas dépasser les bénéfices qu'il en tire, soit la valeur économique qu'il accorde à l'activité. À partir de tous ces éléments, on peut estimer la fonction de demande des individus pour le site récréatif et en déterminer sa valeur.

Un bon exemple d'application de cette méthode est l'utilisation que Beal (1995) en a faite. Il a évalué la valeur économique du parc national de Carnavon Gorge en Australie en envoyant des questionnaires à des usagers y ayant séjourné afin de déterminer la fonction demande pour le séjour dans le parc en fonction du prix. Ainsi, il a trouvé une valeur, en perpétuité, de 40 millions de dollars en 1993-1994 pour le parc national. Cette méthode ne sera pas utilisée au cours de ce mémoire puisque le bien intangible principalement évalué ne sera pas un emplacement géographique particulier. La méthode par coûts de transport ne se prêterait donc pas aussi bien au contexte de l'évaluation de la pollution atmosphérique que pourraient le faire d'autres méthodes.

3.3.3 Méthode des coûts de prévention et de défense

La méthode des coûts de prévention se base, principalement, sur la notion que les individus peuvent se protéger d'une condition négative non-marchande en décidant d'adopter des comportements plus coûteux. Ces comportements peuvent être plus coûteux parce qu'ils requièrent de sacrifier du temps ou de s'imposer des restrictions pour éviter la condition négative (Pearce et al., 2006). De plus, les individus peuvent aussi décider de se procurer des biens marchands qui permettraient de se prémunir contre la condition négative à éviter. Les coûts engagés à travers les biens se transigeant sur les marchés et achetés pour prévenir ou empêcher les conditions négatives sont appelés coûts de prévention. Ainsi, avec la valeur de ces biens ou le coût économique des comportements préventifs, on peut obtenir un prix implicite pour la condition négative que l'on cherche à éviter par ces comportements et ces biens. Un exemple original d'application de cette méthode serait le cas où un individu en automobile déciderait d'effectuer un détour du chemin minimisant les coûts qu'il encourt afin d'éviter de traverser une portion plus dangereuse de la ville où il ne se sentirait pas en sécurité. Dans cette situation, il serait possible d'attribuer une valeur à la sécurité de l'individu concerné grâce aux coûts supplémentaires qu'il accepte d'assumer en temps, en essence et en usure de son véhicule pour diminuer ses probabilités de se faire attaquer. Pour trouver la valeur économique d'une diminution de la pollution atmosphérique, cette méthode ne sera pas utilisée. Il est toujours possible de trouver une telle valeur grâce à des comportements de prévention, mais ceux-ci seraient difficiles à mesurer et la nature du travail du mémoire ne nous permet pas d'effectuer une telle analyse qui pourrait s'avérer plus longue que ce mémoire en entier.

3.4 Évaluation des probabilités d'achat

Dans le cadre de ce mémoire, l'objectif principal de l'utilisation de l'évaluation contingente n'est pas d'estimer un consentement à payer, mais plutôt d'évaluer les probabilités d'achat

de VHR et de VEE, à la fois au niveau global et individuel. L'estimation économétrique des probabilités d'achat aidera, entre autres, à observer les effets des rabais à l'achat de tels véhicules sur la demande ainsi qu'à trouver les profils des acheteurs typiques de VEE et VHR.

Donc, nous avons élaboré un questionnaire respectant le plus possible les critères de Portney afin de pouvoir obtenir des probabilités d'achat comprenant le moins de biais possible. La méthodologie utilisée pour créer ce questionnaire est semblable à celle utilisée par Curtin et al. (2009) dans un rapport sur les véhicules hybrides rechargeables publié par l'Université du Michigan en 2009. Nous allons examiner ce rapport de manière plus détaillée.

Dans leur étude, Curtin et al. tentaient d'examiner le consentement à payer des individus pour les véhicules hybrides traditionnels et les véhicules hybrides rechargeables en tenant compte de différents niveaux de coûts et de bénéfices reliés à ces véhicules pour les usagers. Ils incorporaient ces coûts et bénéfices dans les questions qu'ils posaient et demandaient aux répondants leurs probabilités d'acheter un VHR ou un véhicule hybride traditionnel en fonction des niveaux de coûts et des bénéfices énoncés dans les différentes questions. Aussi, les auteurs se sont assurés d'avoir des descriptions claires des véhicules et des coûts associés afin que les répondants puissent bien s'imaginer le marché hypothétique qui leur était présenté. De plus, ils ont défini les questions de manière à ce qu'elles soient le plus clair possible pour les répondants. Ceci aide à avoir des résultats plus exacts, tout comme une bonne description des véhicules en question.

Quant à la structure du questionnaire, ce dernier commençait par une description de ce qu'est un véhicule hybride traditionnel. Ensuite, une question d'évaluation venait où on demandait au répondant, sur une échelle de zéro à cent⁶, sa probabilité d'acheter un tel véhicule à l'avenir, sans tenir compte du coût supplémentaire du véhicule ni d'un horizon

⁶ Échelle où zéro signifie que le répondant n'achètera certainement pas le véhicule et cent signifie qu'il l'achètera certainement.

temporel particulier. Ensuite, les notions de coûts et de bénéfices ont été introduites. Les auteurs avaient ajouté une description de la nature des coûts et bénéfices reliés aux véhicules hybrides traditionnels pour, après, redemander les probabilités d'achat de ces véhicules en faisant varier les niveaux de coûts, soit la prime à l'achat du véhicule. Des questions du même format ont aussi été posées pour les VHR avec des descriptions appropriées à ce type de véhicule. La différence entre le niveau de coût le plus élevé et le plus faible était de 7500\$. Ce choix permettait de modéliser le montant alloué en crédit d'impôt pour les VHR par le gouvernement fédéral aux États-Unis (Curtin et al., 2009). Dans notre questionnaire, la différence entre la prime la plus élevée et la plus faible est aussi déterminée par le rabais à l'achat ou à la location accordé par le Gouvernement du Québec. Nous utiliserons donc une prime de 8 000\$ pour modéliser ce rabais.

Notre approche diffère des autres analyses de programme de rabais aux véhicules écoénergétiques par le fait que l'on estime les probabilités d'achat à partir d'un questionnaire construit de la même manière qu'un questionnaire utilisé dans une évaluation contingente plutôt qu'en estimant les probabilités d'achat à partir d'études antérieures. Elle diffère aussi de l'étude de Curtin et al. par le fait que nous analysons la rentabilité économique d'un programme de rabais. Curtin et al. examinaient plutôt les différents éléments qui influençaient le consentement à payer des individus pour des véhicules hybrides et hybrides rechargeables.

Aussi, en 2012, le *Congressional Budget Office* (CBO) a publié un rapport portant sur les effets du programme de crédits d'impôt à l'achat de véhicules électriques aux États-Unis. Dans ce dernier, afin d'estimer la portion des bénéfices à attribuer au programme, les auteurs ont d'abord examiné des études déjà effectuées par rapport aux effets des crédits d'impôt sur les véhicules hybrides traditionnels. Ensuite, en se basant sur ces recherches, le CBO a estimé que le crédit d'impôt serait responsable de 30% des ventes⁷ puisque le crédit d'impôt sur les véhicules électriques est plus élevé que celui sur les véhicules hybrides traditionnels en tenant compte des coûts des véhicules (Congressional Budget Office,

⁷ Contre 25% dans le cas des véhicules hybrides traditionnels.

2012). Notre étude devrait permettre d'estimer de manière beaucoup plus précise le changement dans les probabilités d'achat de véhicules électriques avec l'approche de l'évaluation des probabilités semblable à celle de Curtin et *al.* que la technique du CBO puisque nous allons nous fier à des réponses liées directement aux VHR et VEE plutôt qu'à des données provenant d'études analysant l'effet de rabais sur des véhicules tout à fait différents.

Ainsi, en plus d'être plus précise que l'approche du CBO, l'approche utilisée dans ce mémoire pour évaluer les probabilités d'achat des individus est tout à fait nouvelle. Certes, la formulation des questions d'évaluation des probabilités d'achat est fortement inspirée de celle de Curtin et *al.* (2009). Toutefois, tenter de déterminer des probabilités d'achat dans le cadre d'une évaluation contingente plutôt que des dispositions à payer des individus représente une utilisation de cette technique absente de la littérature.

3.5 Valeur des dommages causés par les polluants atmosphériques

L'activité humaine est une source importante de pollution atmosphérique. Les principaux changements dans la composition atmosphérique ont été causés par la combustion d'énergie fossile, utilisée pour le transport et la génération d'énergie (Kampa et Castanas, 2008). Entre autres, les principaux polluants émis par les véhicules automobiles sont le CO₂, le CO, NO_x, SO₂, PM_{2,5}, PM₁₀ et les composés organiques volatils (COV)⁸. Ces polluants atmosphériques ont des effets sur l'atmosphère terrestre et la santé humaine qui sont à considérer quand on analyse un programme qui implique une variation des émissions de polluants et de gaz à effet de serre

Les PM_{2,5} et PM₁₀ sont des termes génériques utilisés pour représenter de la matière particulaire présente dans l'air que l'on peut respirer et composée de divers polluants

⁸ Dioxide de carbone (CO₂), monoxide de carbone (CO), oxydes d'azote (NO_x), dioxyde de soufre (SO₂), matières particulaires de diamètre de moins de 10µm et de 2,5µm (PM₁₀ et PM_{2,5} respectivement).

complexes provenant de sources naturelles ou humaines (Poschl, 2005). Kampa et Castanas (2008) décrivent le CO comme étant un résidu de la combustion incomplète provenant principalement du secteur du transport. Quant au SO₂, les sources humaines de ce polluant représenteraient près de 98% de ses émissions totales et proviendraient entre autres de la combustion de carburants fossiles. La dernière catégorie de polluants que nous allons observer est celle des COV. La source principale de ceux-ci est la combustion, qu'elle soit engendrée pour les déplacements ou la production d'énergie. Cette classe de composé inclut divers composés chimiques de nature organique, dont le benzène. Même si la majorité des COV sont inhalés et affectent surtout le système respiratoire, ils peuvent toutefois entraîner des problèmes hématologiques et le cancer.

Certes, il existe diverses manières d'évaluer les coûts économiques liés à la pollution atmosphérique. De nombreuses études existent donc pour estimer la valeur des dommages causés par la pollution atmosphérique, mais nous nous intéresserons plus à une étude particulière qui est celle de Muller et Mendelsohn (2007). Celle-ci a pour but de mesurer le coût des dommages causés par la pollution atmosphérique aux États-Unis. Toutefois, une approche différente est utilisée par rapport aux autres études faites dans le domaine au moment où elle a été publiée, puisqu'il s'agit de la première étude à évaluer la valeur de la pollution atmosphérique au niveau national en utilisant des valeurs de dommages marginaux spécifiques aux sources qui les émettent. Les auteurs utilisent un modèle d'évaluation avec 10 000 sources différentes de polluants afin d'évaluer les dommages marginaux, pour une tonne d'émissions de plus, à l'environnement provenant de chaque source. La quantité de polluants émise est multipliée par le coût marginal de l'émission de polluants pour chaque source et les auteurs réussissent à agréger les coûts pour obtenir un coût global de la pollution pour toutes ces sources. Ils constatent ainsi l'ampleur des dommages causés par la pollution atmosphérique aux États-Unis. Nous avons choisi cette étude à cause de sa nature relativement récente, du fait qu'elle soit publiée dans une revue reconnue (*Journal of Environmental Economics and Management*) et de la qualité du modèle utilisé. Depuis 2007, peu d'autres études ont été effectuées afin de mesurer les dommages liés à la pollution atmosphérique aux États-Unis. Toutefois, Muller et Mendelsohn ont utilisé le même modèle dans deux autres articles afin d'estimer les effets

des émissions de polluants par secteur industriel (Muller, Mendelsohn et Nordhaus, 2011) en plus de déterminer les bénéfices associés au fait de rendre le programme actuel d'échange de permis d'émission de SO₂ plus efficace (Muller et Mendelsohn, 2009). Ces deux dernières études ont été publiées dans l'*American Economic Review*, ce qui ne fait qu'ajouter de la crédibilité au modèle utilisé. Nous avons quand même décidé d'utiliser les données de 2007 pour notre transfert de valeurs puisque l'étude de Muller et Mendelsohn effectuée en 2007 en est une de bonne qualité et que les deux autres des mêmes auteurs, en utilisant le même modèle qu'en 2007, cherchent plutôt à examiner des éléments plus spécifiques liés à la pollution, alors que nous recherchons plutôt des valeurs globales à transférer.

Muller et Mendelsohn font remarquer que la majorité des dégâts causés par la pollution atmosphérique sont des dommages sur la santé humaine. Donc, ils se concentrent particulièrement sur ces dégâts dans leur évaluation des coûts marginaux de chacun des polluants atmosphériques qu'ils examinent. Pour évaluer le coût marginal des différents polluants, les auteurs ont utilisé le Air Pollution Emissions Experiments and Policy analysis model (APEEP). Pour ce faire, ils ont, en se basant sur les niveaux de pollution actuels, utilisé l'APEEP pour déterminer les dommages causés à l'environnement par ces polluants aux niveaux d'émissions actuels. Ensuite, une tonne d'un polluant spécifique est ajoutée à une source particulière et les valeurs mentionnées précédemment sont recalculées. Les coûts marginaux de l'émission d'une tonne supplémentaire du polluant sont révélés par la différence entre le scénario initial et le scénario où on ajoute de la pollution (Muller et Mendelsohn, 2007). L'expérience fut répétée pour chacune des 10 000 sources et des 6 polluants différents analysés afin d'obtenir 60 000 valeurs de coûts marginaux. Ainsi, les auteurs réussissent à trouver un coût agrégé de la pollution atmosphérique aux États-Unis en plus de coûts marginaux de différents polluants.

L'utilisation des estimés de Muller et Mendelsohn (2007) permettra de bien quantifier l'impact des réductions de coûts associés à la diminution des émissions de polluants atmosphériques causée par les VHR et VEE sur la société québécoise. Certes, nous

justifierons, plus tard au cours du mémoire, la validité du transfert des valeurs des États-Unis au contexte québécois. Il reste qu'on ne retrouve présentement aucune étude sur les impacts économiques des VHR et VEE au Canada et que l'utilisation des données de coûts marginaux des polluants atmosphériques dans le contexte des transports permettrait d'avoir une idée de l'ampleur de ces impacts.

3.6 Transfert de bénéfices environnementaux

La méthode de transfert de bénéfices utilise des résultats d'études déjà existantes qui estiment des variations de bien-être liées à d'autres sites ou d'autres politiques que celles analysées dans les études primaires (Johnston et Rosenberger, 2010). Cette technique permet, entre autres, d'avoir des estimés de bénéfices à appliquer dans une nouvelle étude, si des contraintes, qu'elles soient d'ordre financier ou temporel, empêchent de réaliser une étude primaire (Boyle et al., 2010). En réalité, c'est souvent le cas, lors du processus d'analyse de politiques, où le transfert de bénéfices devient la seule option viable (Johnston et Rosenberger, 2010).

Toutefois, une controverse entoure l'utilisation de l'analyse coûts-bénéfices et du transfert de bénéfices. Une bonne partie de cette controverse pourrait être liée au long débat sur le rôle de l'analyse coûts-bénéfices pour l'information dans le processus de prise de décision (Turner, 1979). Plus spécifiquement, dans le cas du transfert de bénéfices, il y a un manque de consensus concernant les conditions de similarité nécessaires entre deux sites et le type de transfert⁹ qui fonctionne le mieux (Boyle et al., 2010). Ce manque de consensus nuirait à la crédibilité du transfert de bénéfices dans son rôle d'outil à l'évaluation économique de biens non-marchands. D'autres ont aussi peur que les décisions se prennent seulement sous l'angle économique, sans considérer les enjeux sociaux sous-jacents. Cette dernière critique

⁹ Entre le transfert de valeurs environnementales et le transfert de fonctions de bénéfices environnementaux. Le transfert de fonctions de bénéfices représente une fonction de bénéfices dans laquelle on peut ajuster différents paramètres afin d'obtenir des valeurs plus adaptées pour le site où l'on transfère les bénéfices. Le transfert de valeurs consiste à transférer directement les valeurs trouvées d'un site à un autre.

en est toutefois une qui concerne l'analyse coûts-bénéfices et son rôle dans le processus de prise de décision plutôt que le transfert de bénéfices environnementaux spécifiquement.

Malgré ces controverses, Spash et Vatn (2006) essaient de déterminer des critères faisant en sorte qu'un transfert de bénéfices soit le plus valide possible dans le cadre d'analyses coûts-bénéfices. Ils ont spécifié certaines conditions de similarité qui feraient en sorte que l'on s'attende à ce qu'il y ait le moins d'erreurs possible lors du transfert entre deux sites d'étude. Ces éléments qui devraient être semblables sont les suivants :

1. *Le bien/service environnemental, sa qualité/quantité et le changement dans sa qualité/quantité.*
2. *La population, son utilisation du bien/service et ses caractéristiques.*
3. *Les caractéristiques du marché considéré.*
4. *Institutions en place.*
5. *Date entre l'étude primaire et le transfert.*
6. *Emplacement géographique.*

Tous ces éléments devront être étudiés attentivement afin de pouvoir bien juger de la qualité du transfert des valeurs d'un site à un autre.

Donc, à l'aide de plusieurs des techniques mentionnées dans ce chapitre, il nous sera possible d'estimer la valeur des principaux bénéfices liés au programme incluant les polluants atmosphériques qui n'auront pas été émis. Aussi, nous pourrons trouver la valeur des coûts liés au programme à l'aide d'informations provenant du ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec. Toutes ces valeurs nous permettront de déterminer la rentabilité économique du programme de rabais à l'achat ou à la location d'un véhicule électrique neuf.

4. Hypothèses de travail et méthodologie

Ce chapitre a pour but de présenter et d'expliquer les diverses hypothèses qui seront posées tout au long de l'analyse coûts-bénéfices du programme de rabais étudié en plus de définir les techniques qui seront utilisées afin d'évaluer les coûts et bénéfices pour ensuite les mettre sous une base commune, soit les actualiser.

Nous avons choisi d'effectuer une analyse coûts-bénéfices plutôt qu'une analyse coûts-efficacité dans le cadre de ce mémoire. Ici, l'analyse coûts-bénéfices est plus appropriée, car nous cherchons à déterminer l'impact global du programme et son apport à la société plutôt qu'un ratio coûts-efficacité qui nous renseignerait sur sa rentabilité relative. Certes, le ratio coûts-efficacité nous donne un indice sur le rapport entre ce qu'on investit et ce qu'on reçoit en échange, alors que la valeur actualisée nette nous indique directement l'impact global du programme sur la société d'intérêt. Dans un contexte où on voudrait comparer plusieurs programmes ayant des objectifs similaires entre eux, l'analyse coûts-efficacité représenterait un bon outil d'aide à la décision. Toutefois, dans notre cas, où l'on veut seulement vérifier l'impact d'un programme en particulier sur le bien-être collectif, ce ratio coûts-efficacité ne nous donnerait pas l'information exacte que l'on recherche. Ce ratio pourrait être utile pour comparer les coûts de différents programmes ayant pour but de diminuer les émissions de CO₂, mais nous cherchons plutôt à estimer la rentabilité économique du programme de rabais pour la société québécoise. C'est pourquoi nous allons effectuer une analyse coûts-bénéfices plutôt qu'une analyse coûts-efficacité dans ce mémoire.

4.1 Population d'intérêt

Dans le cadre de cette analyse coûts-bénéfices, la population étudiée sera celle du Québec en entier. Certes, le choix de cette population s'est fait sur la base de la population qui va

financer le programme et de celle qui va en bénéficier. Ici, ce qui n'est pas le cas dans toutes les situations, c'est la même population qui va financer et profiter du programme, soit les contribuables québécois. En effet, toute personne morale ou physique établie au Québec est admissible au programme de rabais à l'achat ou à la location de véhicules électriques neufs (Ressources Naturelles et Faune du Québec, 2011). L'évaluation au niveau provincial ne semble ni trop large, ni trop étroite lorsqu'il s'agit de déterminer la société d'intérêt. Il semble raisonnable de croire que la population établie au Québec n'effectuera pas la majorité de ses déplacements dans une autre province. De plus, la qualité de l'air pourrait être considérée comme un bien quasi-public puisqu'elle n'est pas rivale, jusqu'à un certain point, et qu'il est impossible, légalement, d'empêcher quelqu'un de respirer l'air qui l'entoure. Donc, une amélioration de la qualité de l'air, même si elle se fait un peu en dehors de la frontière (e.g. habitant de Gatineau se déplaçant à Ottawa en automobile régulièrement), va quand même bénéficier aux citoyens québécois. Donc, ces derniers semblent vraiment être ceux qui vont bénéficier du programme. Une réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) permettrait aussi d'aider les Québécois à atteindre des cibles d'émissions fixées par le gouvernement plus facilement dans le futur. Quant aux coûts, ce sont, bien évidemment, les contribuables québécois qui vont les assumer puisque le programme de rabais est sous la responsabilité du ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec.

4.2 Horizon temporel

L'horizon temporel reste un élément qui peut avoir une influence importante sur les résultats d'une analyse coûts-bénéfices. Certes, avec un cas comme le nôtre, où ce sont le plus souvent les mêmes bénéfices qui reviennent chaque année et un coût important payé dès le début, choisir un horizon trop long pourrait augmenter les bénéfices de beaucoup et surestimer la valeur actualisée nette globale. Donc, il faudra être conservateur dans le choix d'horizon temporel afin d'éviter de surestimer les bénéfices.

Ainsi, nous avons choisi de considérer les coûts et bénéfices liés aux véhicules sur un horizon de 8 ans¹⁰. Ce choix est basé sur la durée de la garantie sur les batteries et les composants de l'unité d'entraînement électrique de la Chevrolet Volt en 2013 qui est de 8 ans. Si le manufacturier offre cette garantie aux acheteurs de la Volt, c'est que l'on peut s'attendre à ce que les batteries soient capables d'être utilisées de manière normale pendant au moins cette période. Utiliser un horizon temporel inférieur à la durée de vie minimale du véhicule ne ferait que sous-estimer les bénéfices que nous cherchons à estimer. Donc, il semble qu'un horizon de 8 ans soit un choix raisonnable compte tenu du fait que la Chevrolet Volt est le véhicule ayant le plus bénéficié du programme de rabais à l'achat ou à la location de véhicules électriques (Juteau, 2013). Selon la même source, sur tous les VHR et VEE présentement immatriculés au Québec au 31 décembre 2012, près de 63% étaient des Volt. Donc, cette durée de vie, quoi que courte pour un véhicule automobile, permettra de ne pas surestimer les bénéfices liés aux véhicules électriques. Nous ne pouvons utiliser des statistiques sur la durée de vie moyenne des VEE et VHR pour fixer un horizon temporel à considérer, car on ne retrouve actuellement aucune statistique de ce genre en raison de l'arrivée récente de ces véhicules sur le marché. Plus tard dans ce mémoire, nous effectuerons une analyse de sensibilité sur ce paramètre afin de déterminer la robustesse de la valeur actualisée nette obtenue à la suite d'une variation dans l'horizon temporel considéré.

Quant à la période de ventes que nous allons examiner, nous allons analyser la rentabilité économique du programme pour les rabais accordés en 2012. Nous tiendrons donc seulement compte des coûts du programme qui ont été encourus en 2012 et nous regarderons les bénéfices pour les huit prochaines années de vie des véhicules qui ont bénéficié du rabais en 2012.

¹⁰ Les valeurs de coûts marginaux du CO₂ et des polluants utilisées sont actualisées pour tenir compte de coûts allant bien au-delà de la période de 8 ans considérée. Nous considérerons quand même ces valeurs dans notre analyse puisque ce sont des bénéfices qui profiteront à la société grâce au programme de rabais. Plus tard dans ce mémoire, nous effectuerons une analyse de sensibilité sur les valeurs accordées aux émissions de CO₂ et de polluants.

4.3 Évaluation des impacts environnementaux des polluants

Pour déterminer l'impact environnemental du programme, il faut d'abord estimer l'impact environnemental du passage d'un véhicule traditionnel à un VHR ou VEE. Ensuite, il faut trouver le pourcentage des véhicules vendus qui l'auront été grâce à la subvention, puisqu'une partie de ces véhicules aurait été vendue même sans l'aide du programme. Donc, on doit déterminer la portion des véhicules vendus grâce au programme pour pouvoir bien attribuer la fraction des bénéfices totaux liés à la diminution des émissions attribuable au programme. En utilisant tous ces éléments, on peut agréger les bénéfices d'un VHR ou VEE de plus sur les routes pour l'ensemble des véhicules achetés grâce au programme.

4.3.1 Quantification des émissions

Pour déterminer l'impact du passage d'un véhicule traditionnel à un VHR ou à un VEE, il y aura plusieurs hypothèses à poser. Tout d'abord, il faut trouver le véhicule traditionnel auquel on substitue le véhicule plus écoénergétique. Pour déterminer si un véhicule traditionnel est un bon substitut à un VHR ou à un VEE, nous nous fions sur deux critères qui sont la dimension du véhicule et son équipement. Donc, on pose comme hypothèse que le véhicule substitut est identique en tout point sauf pour le groupe motopropulseur. Nous avons ainsi sélectionné différents véhicules de dimension compacte et sous-compacte équipés de manière semblable aux VHR et VEE disponibles sur le marché pour agir comme substituts. La consommation de ces véhicules étant disponible dans le «Guide sur la consommation de carburant 2012» de Ressources naturelles Canada, il a été possible de trouver la consommation d'essence moyenne du véhicule à essence substitut. Pour calculer les consommations d'essence et d'électricité moyennes des VHR, nous avons pondéré leurs différentes consommations en fonction du nombre de véhicules de chaque modèle immatriculés au Québec au 31 décembre 2012. Nous avons effectué le même calcul pour la consommation d'énergie moyenne d'un véhicule entièrement électrique. Ainsi, nous avons pu calculer, en moyenne, la différence entre la consommation d'énergie du véhicule

traditionnel et de sa version hybride rechargeable ainsi que la différence avec le véhicule entièrement électrique.

Une fois les différences de consommation d'énergie déterminées, nous avons eu à poser des hypothèses sur le kilométrage annuel des automobilistes, afin de connaître l'ampleur réelle des économies d'essence en termes de litres. Pour connaître le kilométrage annuel moyen des citoyens québécois, nous avons utilisé la dernière enquête annuelle sur les véhicules de Statistique Canada disponible, soit celle de 2009¹¹. Ainsi, avec le kilométrage moyen disponible et les consommations d'énergie des VHR et VEE, nous avons pu trouver le nombre de litres d'essence économisés annuellement, selon trois différents scénarios d'électrification du kilométrage des VHR¹². Ces scénarios sont une électrification de 50% des kilomètres parcourus, 70% de ceux-ci et 100% du kilométrage. En tenant compte du kilométrage moyen parcouru à chaque jour au Québec en 2009 qui était de 40,45 km, on peut s'attendre à ce que les VHR réussissent à parcourir en mode électrique une partie importante du kilométrage de leurs utilisateurs avec une moyenne pondérée pour leur présence sur les routes du Québec au 31 décembre 2012 de 58,86 km d'autonomie. Toutefois, les habitudes de conduite des utilisateurs et les conditions climatiques peuvent avoir une influence sur l'autonomie en mode électrique de ces véhicules. C'est pourquoi nous avons décidé de considérer les trois scénarios mentionnés précédemment afin de s'assurer que la VAN obtenue soit robuste à un changement dans le pourcentage du kilométrage se trouvant à être électrifié en réalité.

Ainsi, une fois les économies d'essence déterminées, nous avons pu estimer les diminutions d'émissions polluantes liées à ces litres d'essence qui n'ont pas été brûlés grâce à des données sur les émissions des divers polluants associés à l'utilisation de l'automobile par litre d'essence utilisé. Ces données proviennent du Calculateur d'Émissions Liées au Transport Urbain (CELTU) (Transport Canada, 2012). Dans ce calculateur, on retrouve

¹¹ Kilométrage moyen annuel de 14 766,84 km par véhicule de moins de 4,5 tonnes

¹² Les VHR ont, pour chaque modèle, une certaine autonomie en mode électrique. Les différents scénarios d'électrification de leurs kilométrages représentent des scénarios où le conducteur arrive à effectuer X% de son kilométrage quotidien en mode électrique seulement. La portion résiduelle (1-X) de son kilométrage se fait avec le moteur à essence en marche dans le cadre du scénario considéré.

aussi des données quant aux émissions des VHR et VEE en g/km. Ces données proviennent d'une combinaison des émissions des véhicules hybrides traditionnels et des véhicules entièrement électriques. Le scénario utilisé par Transport Canada en est un où le véhicule roule la moitié de son kilométrage en mode totalement électrique et l'autre moitié en émettant la même quantité de polluants qu'un véhicule hybride traditionnel. Nous allons utiliser un scénario différent¹³ afin d'estimer les émissions des VHR puisque la moyenne du kilométrage quotidien des citoyens québécois semble être inférieure à l'autonomie moyenne pondérée en mode électrique des VHR présentement sur nos routes. De plus, les données provenant du questionnaire que nous avons administré semblent aussi indiquer que la majorité des gens arriveraient à effectuer leurs trajets quotidiens en mode électrique seulement. Le scénario utilisé va aussi varier dans le cadre d'une analyse de sensibilité afin de vérifier si les résultats globaux obtenus sont robustes à une variation du kilométrage effectué en mode électrique seulement.

4.3.2 Coûts sociaux des émissions

Avec les quantités d'émissions par type de polluants calculées, il suffira de déterminer les valeurs économiques totales des diminutions de chaque polluant. Toutefois, pour pouvoir trouver ces valeurs, il faut aller regarder les données disponibles dans la littérature. Certes, la solution idéale aurait été de vérifier les coûts marginaux des différents polluants atmosphériques et des gaz à effet de serre nous-mêmes, dans le cas du Québec. Malheureusement, compte tenu des contraintes associées à un mémoire de maîtrise, de telles analyses pourraient, à elles-mêmes, représenter l'œuvre de plusieurs mémoires. Donc, nous avons décidé d'utiliser les techniques de transfert de valeurs environnementales pour évaluer les coûts marginaux des différents polluants atmosphériques émis. Nous chercherons des coûts marginaux des NO_x, SO₂, PM_{2,5}, PM₁₀ et des composés organiques volatils (COV) à partir d'une étude de Muller et Mendelsohn (2007) visant à mesurer les dommages causés par la pollution atmosphérique aux États-Unis. Quant au coût marginal du CO₂, nous allons examiner une méta-analyse de Tol publiée en 2011 portant sur le coût

¹³ Notre scénario principal en sera un où 70% du kilométrage est effectué en mode électrique, alors que le 30% restant est effectué en mode hybride pour le calcul des émissions de polluants du VHR.

social du carbone. Nous allons retenir cette étude particulière pour sa nature récente et pour le nombre important d'études qu'elle regroupe. Certes, plus de 300 estimations de valeurs de CO₂ sont analysées dans cette méta-analyse.

Aussi, il existe depuis 2013 un système de plafonnement et d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre du Québec (SPEDE). Jusqu'au 31 décembre 2014, celui-ci en sera à sa première période de conformité. Ce sont présentement les entreprises émettrices de plus de 25 000 tonnes d'équivalent de CO₂ par année dans les secteurs industriels et de production d'électricité qui sont visées par ces mesures lors de cette période. Certaines unités d'émission¹⁴ sont allouées gratuitement, mais celles qui ne le sont pas sont vendues aux enchères. Le prix minimal de ces unités d'émission est de 10,75\$ par tonne de CO₂ en 2013 et il va augmenter à un taux de 5% plus l'inflation jusqu'en 2020 (Développement durable, Environnement, Faune et Parcs, 2013). Nous n'utiliserons pas ce prix comme valeur du CO₂ dans une analyse de sensibilité compte tenu du fait qu'environ 80 entreprises seulement sont visées dans la première période de conformité du SPEDE. Nous examinerons plutôt un scénario où la valeur du CO₂ et des polluants atmosphérique est nulle. Ce scénario nous donnera nécessairement une VAN plus faible celle que nous aurions obtenue en utilisant une valeur du CO₂ correspondant au prix minimal des unités d'émission du SPEDE, car ce dernier se trouve à être inférieur au coût marginal du CO₂ que l'on retrouve dans Tol (2011). La VAN que l'on aurait obtenu en utilisant le prix minimal des unités d'émission du SPEDE se trouverait donc entre celle que l'on obtiendra dans notre scénario de base et celle dans le scénario avec une valeur des émissions nulle.

4.3.3 Transfert de valeurs environnementales

En 2006, Spash et Vatn ont énoncé des éléments que l'on devrait chercher à rapprocher le plus possible dans les cas de transferts de valeurs afin de rendre ces derniers le plus valide possible. Ces éléments ont été nommés dans la revue de littérature de ce mémoire. Donc,

¹⁴ Une unité représente une tonne métrique d'équivalent de CO₂

pour examiner la validité du transfert des valeurs de Muller et Mendelsohn (2007) à notre étude, nous allons devoir vérifier à quel point chacun des éléments mentionnés sont similaires du contexte américain au contexte québécois.

Tout d'abord, quant à la nature du bien environnemental transféré et à la quantité transférée, nous transférons les mêmes polluants que ceux considérés dans Muller et Mendelsohn (2007). De plus, les valeurs indiquées par ces auteurs représentent des coûts marginaux mesurés par les dégâts que ces polluants causent à la santé humaine aux États-Unis¹⁵. Il est donc à noter que ce sont des valeurs de coûts marginaux qui seront transférées du contexte américain au contexte québécois. Aussi, puisqu'au Québec, nous sommes très près du Nord-Est des États-Unis nous pouvons nous attendre à avoir des concentrations de polluants similaires d'un côté et de l'autre de la frontière au niveau global. Donc, l'émission d'une tonne de plus au Vermont devrait avoir des effets semblables à ceux de l'émission d'une tonne du même polluant dans les Cantons de l'Est. Le critère de similarité dans la qualité et la quantité du bien transféré semble respecté.

De plus, la population, ses caractéristiques et son utilisation du bien environnemental doivent être similaires d'une étude à l'autre. Dans notre cas, la population des États-Unis est très semblable à celle du Canada en termes de niveau de vie. Certes, en 2012, le PIB per capita du Canada était de 43 200\$ (2012USD) alors qu'il était de 50 700\$ (2012USD) aux États-Unis. La différence entre les deux n'est pas négligeable, mais il reste que nous sommes en présence de deux pays développés de l'Amérique du Nord. De plus, ce sont deux économies de marché avec une répartition des travailleurs par secteur assez semblable. Quant à l'utilisation que ferait la population d'un niveau de qualité de l'air plus élevé, il est le même. L'usage principal de l'air est le même aux États-Unis et au Canada, soit la respiration. Une meilleure qualité de l'air permettrait aussi d'effectuer certaines activités extérieures qui auraient été évitées si le niveau de polluants atmosphériques dans l'air était plus élevé. Toutefois, que l'on soit au Canada ou aux États-Unis, la plus grande partie des activités de plein air planifiées par les individus ont lieu dans des milieux plus

¹⁵ Ces dégâts ne sont pas calculés par régions des États-Unis, mais plutôt pour l'ensemble du pays.

ruraux où la qualité de l'air laisse moins à désirer que dans les zones urbaines densément peuplées. Donc, un changement dans la qualité de l'air aura une moins grande influence sur ces activités de plein air et une plus grande sur les activités quotidiennes urbaines, là où le niveau de pollution est plus élevé, peu importe qu'on soit aux États-Unis ou au Canada. Aussi, quelques sports pouvant se pratiquer dans des zones urbaines tels que la course à pied, la marche ou le cyclisme bénéficieraient de la même manière d'une augmentation de la qualité de l'air au Canada qu'aux États-Unis. Globalement, il n'y a pas de raison de croire que l'utilisation des individus d'un changement dans la qualité de l'air des États-Unis au Canada serait différente.

Nous pouvons aussi constater que les caractéristiques du marché considéré, soit celui de la qualité de l'air, en plus du cadre institutionnel sont à peu près les mêmes au Canada et aux États-Unis. Dans les deux cas, nous faisons face à des économies de marché où les lois et la réglementation concernant les émissions de carbone et de divers autres polluants atmosphérique ne sont pas aussi poussées qu'en Europe où il existe un marché mis en place par l'Union Européenne pour réglementer les émissions de carbone.

Pour le temps écoulé entre l'étude primaire et notre transfert, il est assez court. Certes, l'étude de Muller et Mendelsohn a été publiée en 2007, soit cinq ans avant notre transfert. Par contre, les auteurs utilisent des données sur les émissions de polluants aux États-Unis de 2002. Il reste que 10 ans n'est pas un intervalle extrêmement élevé et nous pensons pouvoir toujours faire confiance à ces données compte tenu du fait que ce même modèle a été utilisé dans deux articles publiés dans l'*American Economic Review* en 2009 et 2011. L'étude primaire étant assez récente et l'utilisation de ce modèle semblant toujours pertinente, nous pouvons être confiants que les valeurs estimées puissent toujours être valides. L'étude de Muller et Mendelsohn (2007) a aussi été utilisée dans un contexte similaire dans un article de Lanoie et Rochon-Fabien (2012). Aussi, il ne semble pas y avoir eu de choc pouvant justifier une variation importante des dommages liés à la pollution atmosphérique lors des dix dernières années.

Finalement, la situation géographique est similaire de l'étude de Muller et Mendelsohn à la nôtre. Certes, les États-Unis, malgré leur immense superficie, possèdent une frontière commune avec le Québec sur des centaines de kilomètres. Il serait donc difficile de trouver un emplacement se situant plus près des États-Unis, en termes purement géographiques, que le Québec. Ceci fait en sorte que la plupart des phénomènes climatiques touchant l'Est des États-Unis finissent par toucher le Québec. Donc, un changement climatique global affectant cette partie importante des États-Unis affecterait aussi le Québec. On peut donc croire qu'un changement dans les niveaux de pollution atmosphérique aux États-Unis aurait le même effet que le même changement qui aurait eu lieu au Québec compte tenu de la proximité géographique indéniable entre les deux.

Donc, à la lumière de la similarité de tous ces éléments de l'étude de Muller et Mendelsohn à la nôtre, nous pouvons nous attendre à ce qu'un transfert de bénéfices d'une étude à l'autre ait un niveau d'erreur faible. Il s'agira d'effectuer une analyse de sensibilité par rapport aux coûts de ces émissions afin de s'assurer que les résultats obtenus soient robustes à une variation des coûts économiques de l'émission de polluants.

Aussi, les valeurs des coûts marginaux des polluants trouvées par Muller et Mendelsohn sont présentées pour les milieux urbains et les milieux ruraux dans leur article. Ils indiquent aussi des valeurs plus générales des coûts marginaux qui représentent des moyennes des valeurs rurales et urbaines. Ce sont ces moyennes que nous allons utiliser dans le cadre de notre étude.

4.4 Évaluation des coûts et bénéfices non-environnementaux

Les impacts environnementaux représentent des éléments de coûts et de bénéfices non négligeables dans le cadre de cette analyse, puisqu'il s'agit d'éléments intangibles dont l'évaluation différencie cette étude d'une analyse comptable du programme. Toutefois, il

existe d'autres flux financiers dont il faudra tenir compte afin d'obtenir une valeur actualisée nette du programme précise.

4.4.1 Bénéfices tangibles

Nous avons déjà parlé, plus tôt dans la méthodologie, de la méthode utilisée pour l'évaluation de la quantité d'essence économisée et des différents scénarios auxquels cette méthode sera soumise. Donc, avec la quantité d'essence économisée calculée, nous avons besoin d'attribuer un prix aux litres d'essence qui n'ont pas eu à être achetés. Compte tenu du faible nombre de VHR et VEE vendus en 2012, nous considérerons que les effets de la diminution de la quantité d'essence consommée sur l'efficacité des taxes sur l'essence sont négligeables. Quant aux prix, nous avons utilisé les prix de l'essence ordinaire sans plomb à la rampe de 1999 à 2013, recueillis à partir du site de *The Kent Group* dans la section sur les *Petroleum Price Data*¹⁶ afin de déterminer la variation annuelle moyenne du prix de l'essence à la rampe pour déterminer des prix espérés de l'essence pour chacune des huit années de l'horizon temporel considéré dans ce mémoire. Le prix à la rampe de chargement représente ce que les clients achetant de l'essence en gros paient par litre d'essence. Pour déterminer le niveau de croissance moyen à utiliser, nous avons choisi de répliquer le taux de croissance moyen du prix de l'essence à la rampe au Québec de 1999 à 2013 afin de nous assurer que la croissance estimée puisse représenter une croissance à long terme viable, compte tenu de l'horizon de 8 ans dans le futur que nous considérons. Le calcul des prix espérés sera détaillé plus tard dans ce mémoire dans la section 6.2.1 où l'on cherchera à estimer les bénéfices liés aux économies d'essence. Il est à noter que nous avons choisi d'utiliser le prix à la rampe de l'essence plutôt que son prix au détail afin de modéliser le coût de l'essence économisée. Cela se justifie par le fait que la marge sur l'essence prélevée par les commerçants représente un transfert d'individus de la société considérée à d'autres. Il n'y a donc pas de gains économiques liés au programme sur cette marge. Donc, nous réussissons à ne pas incorporer ce transfert dans nos calculs en utilisant le prix à la rampe de l'essence plutôt que son prix au détail.

¹⁶ <http://www.kentmarketingservices.com/dnn/PetroleumPriceData.aspx>

Aussi, les VEE n'ont pas besoin de changement d'huile, contrairement aux véhicules traditionnels. Par contre, les VHR peuvent en demander. Il reste que les changements d'huile seront bien moins fréquents pour ces véhicules que pour les véhicules traditionnels. Par exemple, dans le guide du propriétaire de la *Chevrolet Volt 2013*, on peut lire qu'il est nécessaire d'effectuer une vidange d'huile à tous les 24 mois. Nous allons, donc, nous fier aux guides de propriétaires des différents VHR pour déterminer les économies en vidange d'huile pour ces véhicules. Nous allons aussi calculer les économies en changements d'huile pour les VEE en tenant compte du fait que ces derniers n'utilisent pas d'huile. Certes, il faudra utiliser le coût d'un changement d'huile en plus de sa fréquence moyenne pour les véhicules que l'on considère comme étant des substituts afin de trouver les économies annuelles en changements d'huile liés à l'utilisation d'un VEE. Toutefois, les coûts des changements d'huile variant d'un garage à l'autre et une partie de ces coûts représentant un transfert des consommateurs aux garagistes, nous allons devoir utiliser le prix du matériel utilisé dans le changement d'huile pour trouver une borne inférieure des bénéfices liés à la réduction du nombre de changements d'huile sur le véhicule.

Donc, nous savons que le prix d'un changement d'huile de base chez Wal-Mart qui est de 34,97\$¹⁷ va inclure jusqu'à 5 litres d'huile minérale et un nouveau filtre à huile. Wal-Mart est une multinationale reconnue pour ses tendances à offrir les prix les plus bas possible sur ses produits grâce à des économies d'échelle considérables et à des stratégies de minimisation des coûts tant au niveau de la gestion que de l'approvisionnement. Nous utiliserons donc les prix minimaux de 5 litres d'huile à moteur et d'un filtre à huile¹⁸ dans ce commerce afin d'obtenir une borne minimale de bénéfices liés à la diminution de la fréquence des changements d'huile. Quant à la fréquence moyenne d'un changement d'huile, nous allons les trouver à partir des manuels du propriétaire des Honda Civic, Toyota Corolla, Ford Focus et Chevrolet Cruze (turbo). Nous n'avons pas réussi à trouver la fréquence recommandée entre deux changements d'huile pour la Honda Fit, mais elle n'est fort probablement pas significativement différente de celle des autres véhicules mentionnés précédemment compte tenu du fait qu'elle soit propulsée de la même manière

¹⁷ Prix obtenu à partir du site internet de Wal-Mart en date du 28 novembre 2013

¹⁸ Prix respectifs de 22,97\$ pour 5 L d'huile Castrol GTX 5W-30 et 7\$ pour un filtre à huile Bosch

que les autres véhicules mentionnés plus tôt. Nous allons donc l'exclure du calcul de l'intervalle moyen entre deux changements d'huile.

4.4.2 Bénéfices intangibles

Il n'y a qu'un seul bénéfice intangible qui sera examiné. Ce dernier est la réduction des émissions polluantes causée par les VHR et VEE achetés grâce au programme qui pollueront moins les routes que des véhicules traditionnels semblables. Nous avons déjà expliqué de manière très détaillée comment nous allons procéder afin d'évaluer de manière économique les impacts environnementaux des VHR et VEE. Un autre impact économique de la présence de plus de VEE et VHR sur nos routes serait une diminution du bruit associé aux véhicules. Toutefois, compte tenu de la présence relativement faible de ces véhicules sur nos routes, ce bénéfice s'avère négligeable et ne sera pas considéré dans le cadre de ce mémoire. Si l'on retrouvait beaucoup plus de VEE et VHR sur nos routes, l'absence de bruit les accompagnant serait probablement remarquée mais, au niveau d'adoption actuel, le bruit des autres véhicules est trop important pour que l'absence de bruit des VEE et VHR ait une influence sur le bien-être des individus se trouvant à proximité de ceux-ci. Il reste que l'absence de bruit dans la cabine peut définitivement avoir une valeur pour ses occupants. La déterminer de manière précise nécessiterait beaucoup de temps et dépasserait le cadre de ce mémoire. Il reste qu'il s'agit d'un bénéfice, plutôt qu'un coût, que l'on omet. Donc, la VAN ne sera pas surestimée à la suite de cette omission. Les résultats globaux de cette étude ne seront donc pas affectés de manière à ce que le programme soit rentable alors qu'il ne l'est pas en réalité, à cause de cet élément que l'on n'analyse pas.

4.4.3 Coûts

Tous les coûts que nous allons examiner seront tangibles. Ceux-ci sont les coûts économiques des rabais à l'achat, de l'administration du programme et de l'électricité

supplémentaire utilisée pour recharger les VHR et VEE achetés grâce au programme. Il est à noter que seule une fraction des coûts du rabais à l'achat sera considérée dans l'analyse puisque l'ensemble de ces coûts représente un transfert monétaire provenant des contribuables payant leurs taxes et impôts à ceux qui bénéficient du programme. La fraction considérée le sera en fonction du ratio du coût marginal des fonds (CMF) à court terme du Gouvernement du Québec qui a été estimé par Dahlby et Ferde (2011) à 1,35, 1,22 et 1,11 pour l'impôt aux entreprises, l'impôt aux particuliers et les taxes de vente respectivement. Nous pondérons ces trois ratios par leur importance dans la taxation réelle per capita moyenne entre 1972 et 2006 au Québec que l'on retrouve aussi dans l'article de Dahlby et Ferde (2011). Ceci nous donne un CMF pondéré de 1,1962. Ceci veut dire que le coût social de récolter un dollar de plus par la taxation et l'imposition pour le Gouvernement du Québec sera de 1,1962 dollar.

Quant à l'estimation du coût des rabais à l'achat, elle sera en partie basée sur des hypothèses sur la proportion des véhicules vendus entre le 1^{er} janvier 2012 et le 31 mars 2013 qui auront été vendus en 2012. Certes, les données obtenues proviennent directement du ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec grâce à une demande d'accès à l'information effectuée en novembre 2013. Celles-ci indiquent exactement le nombre de véhicules de chaque type ayant bénéficié du rabais ainsi que le coût de l'ensemble des rabais de manière agrégée pour les exercices 2011-2012¹⁹ et 2012-2013²⁰. Pour les coûts d'administration du programme, nous utilisons des données provenant de la même demande d'accès à l'information qui nous indiquent les coûts totaux liés à l'administration²¹ de ce programme.

Quant au coût supplémentaire de l'électricité utilisée par les VHR et VEE achetés grâce au programme, il devra aussi être considéré dans les coûts globaux du programme puisque

¹⁹ L'exercice 2011-2012 va du 1^{er} janvier 2012 au 31 mars 2012 dans le cas particulier de ce programme.

²⁰ L'exercice 2012-2013 va du 1^{er} avril 2012 au 31 mars 2013. Nous expliquerons plus en détail dans le prochain chapitre les techniques utilisées pour déterminer les portions des coûts attribuables à l'année 2012 spécifiquement.

²¹ Ce sont principalement des coûts liés à la rémunération des employés, la publicité, des frais de déplacement et d'autres frais de fonctionnement.

cette électricité aurait pu être utilisée autrement si le véhicule n'avait pas été vendu. En général, Hydro-Québec vend ses surplus d'électricité à des États américains avoisinants ou à des provinces maritimes en raison de leur proximité géographique avec le Québec. Donc, nous allons considérer le coût de production moyen de l'électricité exportée par Hydro-Québec pour estimer le coût social de l'électricité consommée par les VHR et VEE vendus grâce au programme puisque ce seront les exportations d'électricité qui risquent d'être affectées par une hausse de la demande locale plutôt que les ventes domestiques. Ainsi, il nous semble approprié d'utiliser le coût de production moyen²² de l'électricité exportée disponible dans la *Présentation des résultats financiers 2012* d'Hydro-Québec (Hydro-Québec, 2012). Le tableau 2 représente les principaux coûts et bénéfices qui seront considérés afin d'estimer la valeur actualisée nette du programme de rabais étudié.

Tableau 2 : Récapitulatif des coûts et bénéfices considérés

Biens	Tangibles	Intangibles
Bénéfices	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution du carburant utilisé - Diminution du nombre de changements d'huile 	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution des émissions polluantes
Coûts	<ul style="list-style-type: none"> - Coût social des rabais à l'achat - Administration du programme - Coût de production de l'électricité utilisée pour la recharge 	Aucun

4.5 Évaluation des probabilités d'achat

Un élément clé de cette analyse coûts-bénéfice est l'évaluation de la variation de la demande causée par une prime à l'achat d'un VHR ou d'un VEE, la valeur de la prime

²² Coût de production moyen de 1,9¢/kWh.

étant ajustée à différents niveaux représentant des rabais à l'achat de ces véhicules. Certes, connaître l'ampleur de cette variation est d'une importance capitale si l'on veut imputer correctement la partie des bénéfices qui reviennent au programme de rabais du gouvernement. Sans tenir compte du fait que plusieurs acheteurs auraient acheté leur véhicule même sans le rabais à l'achat, les bénéfices du programme seraient surestimés de beaucoup et nous obtiendrions une valeur actualisée nette erronée. Il est à noter que l'évaluation de la portion des achats de VHR et VEE qui s'est faite grâce au programme est la raison pour laquelle nous avons créé le questionnaire utilisé dans ce mémoire. L'exercice de validité en 6.1 sera effectué afin de déterminer si l'utilisation des données provenant de notre questionnaire est valide.

Donc, pour évaluer cette variation, nous avons utilisé un questionnaire de forme semblable à une évaluation contingente pour demander à 100 individus leurs probabilités d'achat de VHR et VEE si ceux-ci coûtaient 12 000\$, 9 000\$ et 4 000\$ de plus qu'un véhicule traditionnel similaire pour les VHR et des coûts supplémentaires de 16 000\$, 13 000\$ et 8 000\$ pour les VEE. Le questionnaire a été construit de manière à respecter les critères de Portney, énoncés dans la revue de littérature, pour créer une évaluation contingente avec le moins de biais possible. Quant aux valeurs de primes à l'achat par rapport à un véhicule traditionnel de 12 000\$ et 4 000\$ pour les VHR, celles-ci ont été choisies pour refléter la prime à l'achat de VHR selon qu'il y ait un rabais à l'achat de 8 000\$ ou non qui s'applique au prix du véhicule. Les valeurs de primes de 16 000\$ et 8 000\$ ont aussi été choisies pour modéliser un rabais de 8 000\$ que l'on applique au prix du véhicule afin d'avoir une situation présentée aux répondants reflétant le plus possible les écarts de prix réels entre les VEE et leurs substituts à motorisation traditionnelle.

Quant à l'effet d'un rabais à l'achat de 8 000\$, il suffit de trouver la portion des ventes qui se seraient produites sans le programme, en se servant des probabilités d'achat au niveau de coût actuel qui représentent les ventes totales actuelles. Le rapport entre les probabilités

d'achat au niveau de coût sans le programme²³ et les probabilités au niveau de coût actuel²⁴ donne directement la proportion des véhicules qui se seraient vendus sans le programme. À partir de ce rapport, il est simple de déterminer la proportion des véhicules qui se sont vendus grâce au programme, puisqu'il s'agit de tous les véhicules qui n'auraient pas été achetés sans le programme.

$$\text{Portion des véhicules achetés grâce au rabais} = 1 - \frac{\text{Pr (achat sans rabais)}}{\text{Pr (achat avec rabais)}}$$

Certes, tous les véhicules achetés ayant bénéficié du rabais, les probabilités d'achat avec le rabais représentent bel et bien les probabilités d'achat totales pour ces véhicules au niveau de coûts actuel. De plus, nous avons calculé que le coût moyen d'un VHR sans le rabais est supérieur de 12 000\$ à un véhicule traditionnel de taille semblable et équipé de manière similaire puisque les véhicules que l'on remplacerait par des VHR seraient de taille et d'équipement similaires. Ce segment correspond aux véhicules compacts équipés avec le maximum d'équipement disponible. Le coût moyen d'un VEE serait d'environ 16 000\$ supérieur à son équivalent à essence parce que l'ensemble des véhicules auquel on compare le prix des VEE est composé principalement de véhicules sous-compacts équipés au maximum de leur capacité compte tenu de la taille plus petite de la Mitsubishi i-MiEV et de la Nissan Leaf qui sont les VEE les plus vendus. Un véhicule compact équipé à son maximum est aussi compris dans l'ensemble de comparaison pour les VEE afin que le groupe puisse tenir compte de la présence, malgré leurs ventes moins importantes, des Focus électrique et Tesla Model S qui sont plus imposantes en termes de taille que les Leaf et i-MiEV. Certes, le prix moyen pondéré des VHR est de 38 492,41\$ et il est de 38 683,25\$ pour les VEE, alors que les véhicules à essence auxquels on les comparerait en termes de taille et d'équipement coûteraient 26 597,25\$ et 22 534,80\$ respectivement, ce

²³ Pour les VHR, celles-ci seraient représentées par la réponse à la question d'évaluation dans laquelle on demande au répondant ses probabilités d'acheter un VHR s'il coûte 12 000\$ de plus qu'un véhicule traditionnel identique et qu'il permet de réduire les émissions de polluants et diminuer la consommation d'essence.

²⁴ Pour les VHR, ces probabilités sont représentées par les réponses à la question présentée dans la note précédente, mais avec un niveau de coût supplémentaire de 4 000\$ plutôt que 12 000\$.

qui revient approximativement aux différences de prix mentionnées plus tôt. Donc, nous pouvons calculer l'effet d'un rabais de 8 000\$ pour chaque individu dans le cas de l'achat d'un VHR et d'un VEE en utilisant les variables de probabilités d'achat révélées à un niveau de coût supplémentaire de 4 000\$ et 12 000\$ pour les VHR et un niveau de 8 000\$ et 16 000\$ pour les VEE.

Le calcul de portion des véhicules achetés grâce au programme est donc effectué pour les probabilités révélées par chaque répondant du questionnaire pour chacun des deux types de véhicules étudiés. Il nous est ensuite possible d'agréger ces données pour les 100 individus questionnés afin d'avoir une image plus globale de l'effet du rabais à l'achat sur les ventes de VHR et VEE. Cet aspect sera très important quand il sera temps d'attribuer les bénéfices qui reviennent au programme correctement et représente la raison pour laquelle nous procédons à une évaluation contingente dans le cadre de cette analyse coûts-bénéfices.

4.6 Actualisation

La méthode utilisée pour agréger les différents coûts et bénéfices engendrés par le programme au fil du temps sur une base commune sera l'actualisation de ces derniers. Certes, celle-ci consiste à ramener la valeur de chaque flux monétaire sur la même base en multipliant chaque flux par un facteur d'actualisation. La formule utilisée pour trouver la valeur actualisée est la suivante :

$$VA = \frac{f_i}{(1 + r)^i}$$

Où : VA : valeur actualisée

f : flux monétaire

r : taux d'actualisation

i : période durant laquelle on constate le flux monétaire.

En utilisant cette formule, il est possible de trouver la rentabilité économique du programme étudié lorsque l'on connaît les valeurs de tous les flux monétaires qui y sont liés. Toutefois, en examinant la formule pour la valeur actualisée, on constate qu'elle pourrait être fortement influencée par la valeur que prend le taux d'actualisation. Ce taux représente les préférences intertemporelles des individus. Dans notre cas, compte tenu du fait qu'il s'agit d'un programme gouvernemental, c'est le taux d'actualisation pour les projets gouvernementaux qu'il faudra utiliser puisque c'est ce taux qui représente le coût d'opportunité d'un dollar dépensé par le gouvernement. Certes, il faut évaluer la rentabilité économique du programme de rabais étudié en tenant compte du fait que l'État pourrait utiliser ces fonds autrement, dans le cadre d'autres projets qui produiraient aussi un certain rendement.

Ainsi, dans le cas de cette analyse coûts-bénéfices, nous utiliserons le taux d'actualisation réévalué par Jenkins et Kuo (2007), représentant une moyenne pondérée des différents coûts des capitaux pour le gouvernement²⁵. Le taux d'actualisation déterminé par ces auteurs est de 8%. Celui-ci est conforme au taux de 10% estimé par le Conseil du Trésor du Canada et utilisé dans ses lignes directrices à partir de 1998. La diminution du taux au fil du temps vient du fait que le niveau d'imposition des sociétés a diminué en plus d'une diminution de la taxation sur le capital grâce à l'introduction de la taxe fédérale sur les produits et services. Ces deux changements auront tendance à réduire le taux de rendement avant impôt requis sur le capital (Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, 2007). Le taux d'actualisation de 8% est donc recommandé par le Conseil du Trésor du Canada depuis 2007. Il est à noter que le taux d'actualisation utilisé diffère du taux de préférence intertemporelle choisi pour déterminer les valeurs de CO₂ à transférer à partir de la méta-analyse de Tol (2011). Cela se justifie par le fait que le coût des capitaux pour le gouvernement ne soit pas le même que le coût de la consommation reportée des individus qui est représenté par le taux de préférence intertemporelle. Il est donc nécessaire d'utiliser le coût des capitaux en guise de taux d'actualisation.

²⁵ Coûts des projets d'investissement reportés, de l'épargne intérieure et de l'entrée de capitaux étrangers supplémentaires.

En plus de l'utilisation d'un taux de 8%, une fourchette de 2% est recommandée par le Secrétariat du Conseil du Trésor, en 1998, pour l'analyse de sensibilité du taux d'actualisation. Donc, nous effectuerons l'actualisation avec des taux de 6%, 8% et 10% afin de vérifier si les résultats obtenus sont robustes à une variation du coût du capital pour le gouvernement.

5. Estimation des coûts

Comme nous l'avons vu plus tôt, trois types de coûts seront analysés. D'abord, il y a les coûts attribuables aux rabais en tant que tel. Ensuite, on retrouve des coûts liés à l'administration du programme. Les derniers que nous examinerons seront les coûts de l'électricité supplémentaire utilisée par les portions des VHR et VEE achetés grâce au rabais.

5.1 Coûts des rabais

Comme nous l'avons indiqué en 4.4.2, ces coûts ont pu être obtenus grâce à une demande d'accès à l'information effectuée au ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec.

Aussi, en écrivant au ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec, il a été possible de savoir que 809 rabais ont été accordés dans le cadre du programme de rabais à l'achat ou à la location d'un véhicule électrique neuf du Gouvernement du Québec en 2012 grâce à une référence d'une de leurs employés au compte Twitter du programme Roulez Électrique (VéhiculesÉlectriques, 2013). Toutefois, les données sur les coûts provenant de la demande d'accès à l'information nous indiquent que 1 016 demandes avaient été acceptées entre le 1^{er} janvier 2012 et le 31 mars 2013. Donc, seulement une portion²⁶ de ces 1 016 demandes a été acceptée par le ministère en 2012. Les autres demandes auraient été acceptées en 2013. Compte tenu du fait que le rabais maximal accordé n'ait pas changé de 2012 à 2013, nous considérerons que la proportion des rabais étant accordés aux VHR ou aux VEE sur l'ensemble des rabais restera la même d'une année à l'autre. Ainsi, on peut estimer la proportion des rabais accordés en 2012 sur les périodes 2011-2012 et 2012-2013. Cela nous permettra de trouver la portion des coûts encourue en 2012 à la fois pour les

²⁶ 809 demandes sur les 1 016

rabais accordés aux VHR et aux VEE. Le tableau suivant indique les données sur les coûts du programme reliés aux rabais aux VHR et VEE en 2011-2012 et 2012-2013. Il est encore à noter que 2011-2012 désigne la période du 1^{er} janvier 2012 au 31 mars 2012, compte tenu du fait que le programme ait débuté le 1^{er} janvier 2012.

Tableau 3 : Rabais accordés en 2011-2012 et 2012-2013

	2011-2012		2012-2013	
	Demandes acceptées	Aide accordée (1 000\$)	Demandes acceptées	Aide accordée (1 000\$)
VEE	49	386	272	2 151
VHR	21	163	674	5 114
Total	70	549	946	7 265

À partir de ces coûts bruts et de la portion des rabais attribués en 2012, il a été possible d'estimer les coûts totaux attribuables aux rabais. La portion des rabais attribuée en 2012 est calculable en utilisant le ratio des demandes acceptées en 2012 (809) sur les demandes totales acceptées entre le 1^{er} janvier 2012 au 31 mars 2013 (1016). On estime ainsi que 79,6% de l'ensemble des demandes du tableau 3 auraient été acceptées en 2012. Ce ratio est utilisé pour isoler le nombre de demandes acceptées pour chaque type de véhicule dans le tableau 3 ainsi que les coûts qui leurs sont associés. L'utilisation de ce ratio nous permet donc d'obtenir des estimés des coûts liés à l'année 2012 seulement, soit ceux qui nous intéressent dans le cadre de cette analyse. Ces estimés sont représentés dans le tableau 4. Nous utilisons aussi le CMF pour le Gouvernement du Québec estimé par Dahlby et Ferede (2011) afin de déterminer les coûts économiques des rabais pour la société québécoise.

Tableau 4 : Coûts des rabais pour 2012

	2012		
	Demandes acceptées estimées	Coûts (1000\$)	Coûts économiques (1000\$)
VEE	255,6	2 020,111	396,346
VHR	553,4	4 201,863	824,406
Total	809	6 221,974	1 220,752

Malgré le fait qu'il ne soit pas possible d'accepter 60% d'une demande, nous avons quand même décidé de conserver ces décimales puisque nous n'avons pas trouvé le nombre exact de demandes acceptées pour chaque type de véhicule en 2012 et que le fait d'arrondir par souci de réalisme ne viendrait pas apporter plus de précision à notre estimé des coûts des rabais. Ainsi, on estime que les coûts économiques associés aux rabais accordés auront été de 1 220 752\$ en 2012.

5.2 Coûts d'administration

Pour faire connaître le programme et le faire fonctionner, il a fallu que le Gouvernement du Québec engage des charges autres que les sommes accordées en rabais. Dans le cadre du programme, il était prévu qu'un maximum de 15% des sommes allouées aux rabais puisse être utilisé pour les coûts liés à l'administration du programme de rabais. Ceci représenterait une somme de 995 513,43\$ et aurait pu représenter une borne maximale pour les coûts. Toutefois, il s'avère que nous avons accès à de l'information plus précise sur les coûts d'administration du programme grâce à la demande d'accès à l'information. Les coûts d'administration que nous allons estimer seront la rémunération des employés, la publicité, les frais de déplacement et les autres coûts de fonctionnement. Les coûts étant encore une fois donnés pour 2011-2012 et 2012-2013, on utilisera les mêmes proportions que pour les coûts des rabais afin d'estimer la partie des coûts engagée en 2012. Malgré l'utilisation de cette proportion, il est à nouveau nécessaire de poser des hypothèses sur la portion des coûts administratifs attribuable aux VHR et VEE. En plus des coûts liés au programme de rabais aux VHR et VEE, une partie des coûts fournis serait attribuable au programme de rabais accordé aux bornes de recharge pour ces véhicules et une autre partie serait liée à des rabais accordés à l'achat de véhicules hybrides. Donc, pour isoler la portion liée aux véhicules qui nous intéressent, nous avons décidé d'utiliser la portion des coûts de chacun des programmes de rabais sur la somme de leurs coûts pour déterminer la proportion des coûts qui devrait être attribuables aux VHR et VEE. Ainsi, 62,26% des coûts administratifs totaux de ces programmes devraient être attribués au programme de rabais pour les VHR et VEE.

L'ensemble des coûts administratifs pour la période du 1^{er} janvier 2012 au 31 mars 2013 pour l'ensemble des programmes liés aux véhicules électriques²⁷ est de 836 700\$. En plus d'inclure les coûts liés à l'administration du programme de rabais aux VHR et VEE, cette valeur comprend les coûts de l'administration des rabais pour les véhicules hybrides et les bornes de recharge. Elle est donc nécessairement supérieure aux coûts d'administration liés aux VHR et VEE seulement. Avec une valeur de 414 782\$, notre estimé des coûts administratifs du programme nous semble plus conservateur et devrait pouvoir mieux représenter la portion de l'ensemble des coûts administratifs liée aux VHR et VEE. Contrairement aux coûts des rabais, les coûts de l'administration du programme ne seront pas considérés comme des transferts puisqu'ils n'auraient pas eu lieu sans l'implantation du programme et que les employés qui y sont affectés représentent des ressources qui auraient pu être utilisées autrement.

Ainsi, la somme des coûts financiers liés à l'administration du programme et du coût des rabais représente l'ensemble des coûts qui seront analysés dans le cadre de cette analyse coûts-bénéfices. Ces coûts sont donc de l'ordre de 6 636 756\$ de 2012. Il est à noter que tous les coûts gouvernementaux engendrés par ce programme auront été encourus en 2012. Ils seront donc robustes à un changement dans le coût d'opportunité social du Gouvernement. Seuls les bénéfices varieront selon le taux d'actualisation utilisé. Le tableau suivant résume les différents coûts financiers et économiques attribuables au programme de rabais à l'achat ou à la location d'un véhicule électrique neuf du Gouvernement du Québec pour 2012. Les coûts économiques représentent les coûts sociaux liés au financement du programme par les principales sources de taxation auxquelles le gouvernement va recourir. Nous avons expliqué en 4.4.2 que, pour le Gouvernement du Québec, le coût moyen de recueillir un dollar de taxes supplémentaire sera de 1,1962\$. Donc, on aura seulement 19,62¢ de coûts économiques par dollar de coûts financiers. Seul ce 19,62¢ par dollar sera considéré puisque le reste des sommes dépensées est plutôt un transfert monétaire au sein de la société québécoise.

²⁷ Rabais aux VEE, aux VHR, aux véhicules hybrides traditionnels et pour les bornes de recharge

Tableau 5 : Sommaire des coûts des rabais et de l'administration du programme

2012			
	Demandes acceptées	Coûts (1000\$)	Coûts économiques (1 000\$)
VEE	255,6	2 020,111	396,346
VHR	553,4	4 201,863	824,406
Rémunération		158,883	158,883
Publicité		12,146	12,146
Frais de déplacement		0,545	0,545
Fonctionnement - autres		243,208	243,208
Total		6 636,756	1 635,534

5.3 Coûts de l'électricité supplémentaire utilisée

Dans le cadre de cette analyse, il est nécessaire de tenir compte du coût de l'électricité supplémentaire utilisée à cause du programme puisque celle-ci aurait fait partie du surplus d'électricité d'Hydro-Québec et aurait probablement été exportée si elle n'avait pas été consommée pour la recharge de VHR et VEE. Nous avons trouvé, grâce à la méthode présentée dans la section 4.5, que 46,6% et 50,08%²⁸ des VHR et VEE respectivement auraient été achetés grâce au programme de rabais. Ce sont seulement ces portions des coûts totaux liés à l'électricité que nous attribuerons au programme en tant que coûts. Quant au coût de l'électricité, nous avons trouvé dans *la Présentation des résultats financiers 2012* d'Hydro-Québec (Hydro-Québec, 2012) que le coût moyen de production de l'électricité exportée était de 1,9¢/kWh. Il n'y a aucune raison de croire que l'électricité qui est exportée coûte plus cher à produire que celle consommée au Québec. Seuls les coûts de transport, exclus du 1,9¢/kWh, vont différer. C'est donc ce coût moyen de production qui sera utilisé comme coût de l'électricité supplémentaire utilisée puisque la différence entre le coût de l'électricité et le prix auquel Hydro-Québec la vendrait représente un transfert.

²⁸ L'utilisation de ces proportions sera justifiée en 6.1 dans l'exercice de validité effectué.

Ayant le coût de l'électricité par unité utilisée, il nous suffit d'estimer la quantité consommée afin de calculer les coûts totaux liés à la consommation d'électricité supplémentaire engendrée par le programme. Il faudra calculer la consommation annuelle d'électricité d'un VHR moyen selon trois scénarios d'électrification²⁹ et la consommation moyenne annuelle d'un VEE. Les données sur la consommation utilisées proviennent du Guide de consommation de carburant 2012 (Ressources naturelles Canada, 2012). Dans ce guide, on retrouve des sections dédiées aux VHR et VEE. Toutefois, en 2012, certains véhicules électriques comme la Focus électrique et la Tesla Model S ne figuraient pas dans le guide. Nous allons donc nous référer à l'édition de 2013 de ce même guide afin d'avoir leurs consommations d'électricité. Pour le calcul des consommations des VHR et VEE moyens, nous allons trouver la moyenne de ces consommations en pondérant par leur présence sur les routes du Québec. Des informations précises sur le nombre de VEE et VHR immatriculés au Québec au 31 décembre 2012 étaient disponibles sur le site de Roulez Électrique. Ces informations, en plus des données de consommation d'électricité provenant des guides de Ressources naturelles Canada, sont présentées dans le tableau suivant. Elles seront fort utiles pour trouver les pondérations à utiliser pour trouver la consommation d'électricité moyenne. On constate aussi qu'il y avait plus de VEE et VHR immatriculés au Québec en date du 31 décembre 2012 que le nombre de rabais accordés en 2012. Cela se justifie par le fait que certains propriétaires de VEE et VHR ont pu obtenir leurs véhicules en les important des États-Unis ou en se les procurant avant le 1^{er} janvier 2012.

²⁹ 50% du kilométrage effectué en mode électrique, 70% du kilométrage effectué en mode électrique et 100% du kilométrage effectué en mode électrique. L'utilisation du scénario avec 50% du kilométrage électrifié comme scénario pessimiste se justifie par le fait que l'autonomie moyenne en mode électrique des VHR pondérée par leurs ventes est supérieure au kilométrage moyen effectué quotidiennement par les Québécois. L'utilisation de ces scénarios est justifiée de manière plus détaillée en 7.2.3.

Tableau 6 : Nombre de VHR et VEE immatriculés au Québec en date du 31 décembre 2012 et leurs consommations d'électricité

Modèles	VHR	VEE	Consommation électricité (kWh/100km)
Volt	751		22.3
Leaf		161	21.1
i-MiEV		147	18.7
Focus électrique		25	16
Tesla Model S		21	21.9
Prius branchable	20		14.4
Fisker Karma	11		65
Total	782	354	

Avec ces données, on trouve une moyenne pondérée de consommation d'électricité de 22,7 kWh aux 100 km pour les VHR roulant en mode électrique. Ce résultat vient du fait que la Volt représente environ 96% des VHR sur les routes du Québec en date du 31 décembre 2012. Un poids de 96% sera donc accordé à sa consommation d'électricité en mode électrique, alors que la Prius branchable et la Fisker Karma auront des poids respectifs de 2,56% et 1,41% dans le calcul de la consommation d'électricité moyenne des VHR. Quant aux VEE, en effectuant un calcul semblable, on trouve qu'ils ont une consommation moyenne pondérée de 19,8 kWh aux 100 km. À partir de l'enquête sur les véhicules du Canada de 2009³⁰ (Statistique Canada, 2010), nous avons pu trouver une distance moyenne parcourue annuellement par les véhicules de moins de 4,5 tonnes au Québec de 14 766,84 km. Aussi, nous posons que, parmi les 809 véhicules ayant bénéficié du programme de rabais en 2012, 255,6 auraient été des VEE, alors que 553,4 auraient été des VHR. Sachant que 46,6% des VHR et 50,08% VEE auraient été achetés grâce au programme de rabais, c'est ce pourcentage de l'électricité consommée par tous les véhicules ayant bénéficié du programme qui seront considérés dans les coûts du programme. Dans ce chapitre, nous considérerons ces proportions des VHR et VEE achetés grâce au programme comme étant données. Toutefois, nous les avons calculés à partir de la méthode décrite en 4.5 et allons justifier l'utilisation de ces proportions en détail dans le cadre d'un exercice de validité dans le prochain chapitre.

³⁰ Il s'agit de la dernière enquête de cette série annuelle effectuée par Statistique Canada de 2000 à 2009.

Ainsi, nous avons trouvé que l'électricité supplémentaire consommée à cause du programme dépendra du scénario d'électrification du kilométrage des VHR. Dans le cas où 50% du kilométrage effectué par ces véhicules se fait en mode électrique, les coûts supplémentaires en électricité liés au programme sont de 15 319,40\$. Dans le cas où 70% de ces kilomètres sont électrifiés, les coûts représentent 18 604,10\$. Pour le cas où tous les kilomètres se font en mode électrique, des coûts de 23 531,14\$ sont attribuables au programme pour l'utilisation supplémentaire d'électricité.

5.4 Coûts totaux

En effectuant la somme des différents coûts mentionnés dans les dernières sections, nous pouvons trouver les coûts totaux liés à l'implantation du programme de rabais à l'achat ou à la location d'un véhicule électrique neuf selon chacun des trois scénarios d'électrification du kilométrage des VHR. Le tableau suivant identifie les coûts qui auraient été engagés en 2012 et ceux liés à la consommation d'électricité supplémentaire qui seront engagés annuellement de 2013 à la fin de l'horizon temporel considéré.

Tableau 7 : Ensemble des coûts

2012 – Coûts (1 000\$)			
	Scénario - 50%	Scénario - 70%	Scénario - 100%
Rabais aux VEE	396,346	396,346	396,346
Rabais aux VHR	824,406	824,406	824,406
Rémunération	158,883	158,883	158,883
Publicité	12,146	12,146	12,146
Frais de déplacement	0,545	0,545	0,545
Fonctionnement - autres	243,208	243,208	243,208
Total	1 635,534	1 635,534	1 635,534
Consommation d'électricité annuelle (2013 et plus)	15,319	18,604	23,531

À partir de ce tableau, on peut constater que les coûts totaux en 2012 ne varient pas en fonction des différents scénarios d'électrification du kilométrage des VHR. Seuls les coûts annuels, à partir de 2013, vont changer selon le scénario considéré. Nous pouvons tout de même constater que ce sont les postes liés aux montants alloués aux rabais qui représentent les plus grands coûts. Ces derniers représentent près de 75% de l'ensemble des coûts encourus en 2012. Ils sont aussi beaucoup plus grands que les coûts liés à la consommation d'électricité supplémentaire, et ce, peu importe le scénario d'électrification considéré.

Malgré le fait que l'on ait eu à poser des hypothèses sur la portion des rabais attribuée en 2012, on peut s'attendre à ce que les coûts réels des rabais ne varient pas de beaucoup par rapport à la valeur estimée, compte tenu du fait que l'estimation s'est faite à l'aide de valeurs de coûts provenant directement du ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec, plutôt que de simples estimés provenant des montants de rabais maximaux attribuables pour chaque type de véhicule.

6. Estimation des bénéfices

Dans cette section, nous allons monétiser les bénéfices liés au programme de rabais à l'achat étudiés et identifiés en 4.3 et 4.4.1. Il faudra donc évaluer la quantité de carburant économisée grâce au programme et convertir ces litres d'essence en kilogrammes de polluants. Ensuite, il est possible d'attribuer une valeur monétaire à ces litres de carburant non brûlés et aux émissions qui n'auront pas été émises dans l'atmosphère. Il est à noter que seule une partie des émissions et du carburant économisé grâce à la substitution d'un véhicule traditionnel à un VHR ou un VEE sera attribuable au programme. Certes, une proportion importante de ces véhicules aurait été achetée par leurs propriétaires même sans la présence d'un rabais gouvernemental. À partir des résultats de notre questionnaire, nous avons estimé que 46,6% des VHR auraient été achetés grâce au rabais et que 50,08% des VEE l'auraient été. Cet estimé est un élément clé de cette analyse coûts-bénéfices, tant dans le cadre de l'estimation des bénéfices que des coûts. L'obtention de celui-ci représente la raison pour laquelle nous avons créé ce questionnaire. Nous avons expliqué en 4.5 comment nous arrivions à obtenir de tels résultats. Il reste qu'il est nécessaire de s'assurer de la validité des résultats obtenus à l'aide de notre évaluation contingente afin que nos valeurs de portions des ventes attribuables au programme soient crédibles. C'est pour cette raison que nous allons effectuer un exercice de validité qui viendra confirmer que l'usage de ces proportions est approprié avant de monétiser les bénéfices plus tard dans ce chapitre.

6.1 Exercice de validité

Tout au long de cette section, nous présenterons les données utilisées dans le cadre de l'estimation des portions des demandes de VHR et VEE attribuables au rabais à l'achat étudié dans ce mémoire. Pour les présenter, nous allons d'abord les définir et les décrire. Ensuite, nous effectuerons un test de validité des données pour déterminer si les résultats d'estimation de probabilités d'achat à l'aide d'un modèle économétrique (probit) amène des résultats qui convergent en termes de direction des effets de chaque variable avec ceux

auxquels on pourrait s'attendre selon la théorie microéconomique et le sens commun. Cet exercice est fortement inspiré de ceux effectués par Marie-Geneviève Pelland (2004) et Sébastien Roy (2009).

6.1.1 Représentativité de l'échantillon

Avant d'examiner les résultats de notre évaluation contingente, il faut examiner la représentativité de l'échantillon de répondants au questionnaire par rapport à la population du Québec. Hormis quelques étudiants gradués de HEC Montréal, les individus ayant accepté de répondre à notre questionnaire ont été choisis de manière aléatoire. Ils ont été sélectionnés dans divers lieux publics qui étaient principalement des arénas, parcs et centres commerciaux à Montréal et sur la Rive-Nord de Montréal. Nous avons donc pu récolter des informations sur des individus habitant à Montréal, Laval, sur la Rive-Nord et sur la Rive-Sud de Montréal. Dans le tableau suivant, on retrouve une comparaison entre des données sociodémographiques relatives à notre échantillon et les mêmes caractéristiques par rapport à la population québécoise.

Tableau 8 : Comparaison des variables sociodémographiques

	Échantillon	Population
Âge médian ³¹	42	46.5 ³²
Âge moyen ³³	41.35	48.25
Revenu médian	52 500	54 155.98 ³⁴
Revenu moyen	68 696.81	69 160.07 ³⁵
Femme	48%	50.96%
Français comme première langue	85%	83%
Diplôme collégial et plus	65%	49,5%

³¹ Âge médian dans la population de 18 ans et plus.

³² Âge médian se trouve dans la fourchette entre 44 et 49 ans.

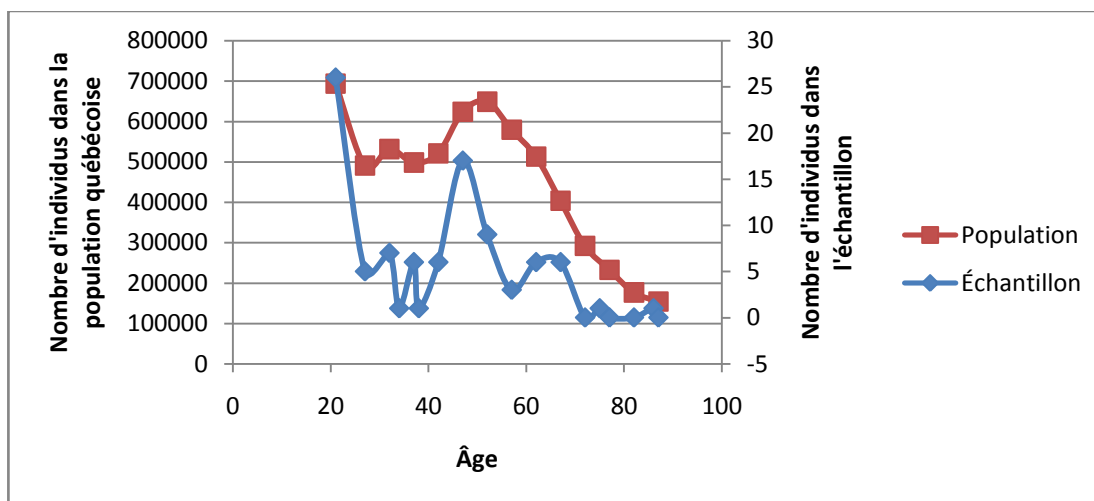
³³ Âge moyen dans la population de 18 ans et plus.

³⁴ Ajusté pour l'inflation à l'aide de l'IPC.

³⁵ Idem.

D'abord, on peut voir que l'âge médian dans notre échantillon se rapproche de celui de la population avec une différence de 4,5 ans entre les deux. Quant à l'âge moyen, la différence entre notre échantillon et la population est de près de sept ans. Les âges à la fois moyens et médians dans notre échantillon sont donc plus faibles que dans la population. Il reste que la différence n'est pas très grande. De plus, dans la population, les personnes de 65 ans et plus auront souvent moins tendance à acheter des véhicules. L'âge moyen des acheteurs de véhicules dans la population de 18 ans et plus sera donc fort probablement moins élevé que l'âge moyen dans la population de 18 ans et plus. On constate la même chose pour la variable de l'âge médian. Les tendances d'achat plus faibles des personnes âgées justifieraient l'utilisation des résultats de notre échantillon pour l'évaluation des probabilités d'achat des VHR et VEE, malgré les âges moyens et médians obtenus plus faibles que dans la population. Le tableau suivant montre la distribution de l'âge des individus à la fois dans la population et dans notre échantillon. Il est possible de voir que les distributions sont quand même semblables, malgré le fait que l'on ait un échantillon de 100 personnes, alors que la population de 18 ans et plus au Québec compte des millions d'individus.

Graphique 2 : Distribution de l'âge des individus dans la population québécoise et dans l'échantillon



Quant aux revenus, on constate que les revenus moyens des ménages dans la population et dans l'échantillon sont très semblables. Certes, la différence entre le revenu médian dans la population et celui dans notre échantillon est d'un peu plus de 1 650\$. Cette différence est assez faible et ne nous permet pas de dire que notre échantillon est très différent de la population sur ce point. Le revenu moyen dans la population est plus élevé que celui de l'échantillon de près de 500\$. Encore une fois, cette différence, de l'ordre de 0,67%, n'est pas assez élevée pour conclure que notre échantillon est vraiment différent de la population sur ce point.

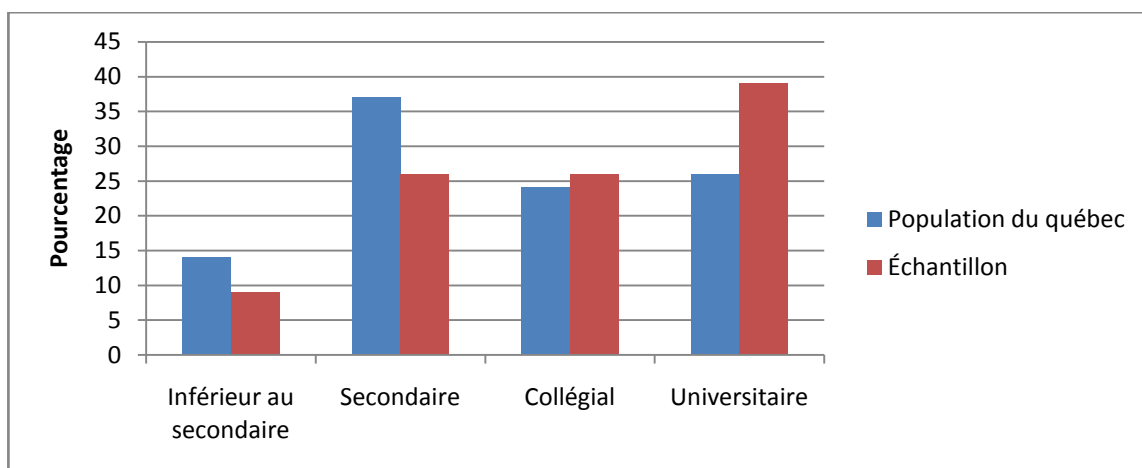
Pour la présence féminine, on retrouve, dans la population québécoise, 50,96% de femmes. Dans notre échantillon, c'est plutôt 48% des individus qui sont de sexe féminin. Comme dans le cas des revenus, il reste que cette différence n'est pas énorme et ne nous empêche pas d'utiliser les résultats obtenus à travers cette évaluation contingente pour évaluer les probabilités d'achat de VEE et VHR.

La langue première des individus dans notre échantillon est le français pour 85% des répondants, ce qui est assez près de cette même statistique pour la population québécoise qui est de 83% selon les données du recensement de 2011 (Statistique Canada, 2012).

Le dernier niveau de scolarité complété par les individus sondés semble être supérieur à celui de la population du Québec en général, selon des données provenant de l'Enquête sur la population active (Statistique Canada, 2013). On voit dans le tableau 8 que 65% de notre échantillon possède un diplôme collégial et plus, alors que c'est le cas pour seulement 49,5% de la population québécoise. Cela pourrait en partie s'expliquer par le fait que plusieurs étudiants gradués aient fait partie de l'échantillon sondé. Il reste que la différence entre la distribution du dernier niveau de scolarité atteint dans la population et dans notre échantillon réside principalement dans les portions de notre échantillon ayant complété un diplôme d'études secondaires ou un diplôme universitaire. On peut voir la distribution des derniers niveaux de scolarité atteints dans notre échantillon et dans la population dans le

graphique 3. Nous verrons, plus tard dans l'exercice de validité, si la scolarité a un effet statistiquement significatif sur les probabilités d'achat de VHR et VEE.

Graphique 3 : Derniers niveaux de scolarité atteints dans la population et dans notre échantillon



Aussi, nous pouvons comparer le kilométrage annuel effectué par les individus dans la population québécoise à celui dans notre échantillon pour constater qu'ils sont très similaires. En effet, le kilométrage annuel moyen parcouru par les conducteurs de véhicules de moins de 4,5 tonnes au Québec est d'environ 14 767 kilomètres, alors que celui dans notre échantillon est de 14 329 kilomètres. Donc, lorsque nous comparons les kilométrages annuels moyens parcourus, l'individu moyen dans notre échantillon se rapproche beaucoup de celui dans la population.

De plus, 54% des individus indiquent qu'ils ont accès à une prise de courant où ils pourraient brancher un véhicule électrique à leur lieu de domicile et 20% y ont accès à leur lieu de travail. Il s'agit d'un des nombreux éléments pouvant potentiellement influencer les probabilités d'achat de VHR et VEE que nous allons examiner dans le cadre de cet exercice de validité.

Il est aussi intéressant de noter que les individus sondés ne se sentent, en général, pas vraiment affectés physiquement par la pollution causée par les véhicules automobiles. Toutefois, ils se sentent préoccupés par cette dernière.

6.1.2 Définition des variables

Dans le cadre de cet exercice, nous allons tenter d'expliquer les variations dans les probabilités d'achat de VHR et VEE à l'aide de données sur des variables explicatives recueillies via le questionnaire. Toutefois, afin de pouvoir bien interpréter la signification des coefficients, il faut d'abord examiner la manière dont les variables sont définies dans le modèle. On retrouve quatre grands groupes de variables qui comprennent 30 variables différentes provenant toutes des résultats de l'évaluation contingente présentée plus tôt dans ce mémoire. Les quatre grandes catégories dans lesquelles nous avons regroupé ces variables sont les suivantes : variables en relation avec le transport (VÉHICULES, KM/AN, KM/JOUR, POURCENTAGE D'AUTOROUTE, ESSENCE PAR MOIS, COVOITURAGE, TRANSPORT EN COMMUN, PLUS PETIT VÉHICULE, CHANGEMENT VÉHICULE DÛ), variables d'attitude environnementale (HEURES DEHORS, RECYCLAGE, COMPOST, DONS, GROUPE ENVIRONNEMENTAL, AFFECTÉ, PRÉOCCUPÉ), variables en rapport avec l'accès à une prise électrique (ACCÈS MAISON, ACCÈS TRAVAIL) et les variables de type sociodémographiques (FEMME, FRANÇAIS, ANGLAIS, LANGAGE, ÂGE, SCOLARITÉ, EN COUPLE, ENFANTS, FUMEUR, REVENU, MONTRÉAL, BANLIEUE). Dans l'annexe 1, on retrouve un tableau de l'ensemble des statistiques descriptives des variables incluant leurs définitions, leurs moyennes et leurs écart-types. On peut aussi retrouver le questionnaire d'évaluation contingente dans l'annexe 2.

6.1.3 Attentes

Le tableau suivant indique nos attentes par rapport aux signes que devraient prendre les différentes variables :

Tableau 9 : Signes attendus des variables

Variables	Signe attendu
VÉHICULES	+
KM/AN	+
KM/JOUR	+/-
POURCENTAGE D'AUTOROUTE	-
ESSENCE PAR MOIS	+
COVOITURAGE	+
TRANSPORT EN COMMUN	+/-
PLUS PETIT VÉHICULE	-
CHANGEMENT VÉHICULE D'ÂGE	+
HEURES DEHORS	+
RECYCLAGE	+
COMPOST	+
DONS	+
GROUPE ENVIRONNEMENTAL	+
AFFECTÉ	+
PRÉOCCUPÉ	+
ACCÈS MAISON	+
ACCÈS TRAVAIL	+
FEMME	+/-
FRANÇAIS	+/-
ANGLAIS	+/-
LANGAGE	+/-
ÂGE	+/-
SCOLARITÉ	+
EN COUPLE	-
ENFANTS	-
FUMEUR	+/-
REVENU	+
MONTRÉAL	-
BANLIEUE	+

Dans le premier groupe de variables décrit précédemment, on retrouve des variables de relation aux véhicules (VÉHICULES, KM/AN, KM/JOUR, POURCENTAGE D'AUTOROUTE, ESSENCE PAR MOIS, COVOITURAGE, TRANSPORT EN COMMUN, PLUS PETIT VÉHICULE, CHANGEMENT VÉHICULE DÛ).

On s'attend à ce qu'un individu possédant plus de véhicules ait une plus grande probabilité d'acheter un véhicule écoénergétique puisqu'il posséderait déjà d'autres véhicules pour les fois où il aurait besoin d'effectuer des déplacements au-delà de l'autonomie d'un VEE. Un individu parcourant plus de kilomètres en une année pourrait aussi avoir une plus grande probabilité d'acheter un VHR ou un VEE puisqu'il pourrait plus bénéficier des avantages de ces véhicules en économisant plus de litres d'essence. Toutefois, l'effet d'effectuer un kilométrage quotidien plus élevé reste incertain. Sur un certain intervalle, cela pourrait avoir un effet positif sur les probabilités d'achat puisque l'individu pourrait bénéficier de plus de kilomètres en mode électrique. Par contre, rendu à un certain niveau, l'individu pourrait dépasser l'autonomie en mode électrique de son véhicule et, à partir de ce point, les bénéfices d'utiliser un VHR deviendraient relativement moins grands au fur et à mesure que le kilométrage quotidien augmente. Quant à la portion de son kilométrage effectuée sur l'autoroute (POURCENTAGE D'AUTOROUTE), nous nous attendons à ce qu'un individu parcourant une plus grande partie de son kilométrage sur l'autoroute ait de moins grandes probabilités d'acheter un VHR ou un VEE. Certes, d'autres alternatives moins dispendieuses telles que le diesel ou des moteurs plus petits existent pour les conducteurs effectuant une plus grande partie de leur kilométrage sur l'autoroute. Aussi, on s'attend à ce qu'un individu allant plus souvent à la station-service dans un mois (ESSENCE PAR MOIS) ait plus de probabilités d'acheter un véhicule écoénergétique, car les bénéfices de changer pour un tel véhicule seront plus grands pour lui que pour un individu allant peu souvent mettre de l'essence dans son automobile.

Quant à l'effet du covoiturage, on s'attend à ce qu'un individu effectuant plus de covoiturage ait plus de probabilités d'acheter un VHR ou un VEE puisque le covoiturage est une habitude prise principalement pour économiser de l'argent sur l'essence et pour

avoir une empreinte environnementale moins grande en termes d'émissions, objectifs qui sont plus facilement atteints par les VEE et les VHR. Aussi, on s'attend à ce que la taille du plus petit véhicule ait un effet négatif sur les probabilités d'achat. Cette variable est construite de manière à ce que la taille du plus petit véhicule du ménage soit définie par un nombre qui croît lorsque l'on passe d'une classe de véhicule³⁶ plus petite à une plus grande. Un individu dont le plus petit véhicule est un véhicule de grande taille devrait être moins prêt à acheter un véhicule plus petit comme les VHR et VEE, contrairement à un individu possédant déjà un petit véhicule. On retrouve aussi des variables dans ce groupe (CHANGEMENT VÉHICULE DÛ, TRANSPORT EN COMMUN) dont les effets sont complexes et pour lesquelles nous n'avons pas d'attentes précises quant à leurs signes. Par exemple, un type d'individu utilisant plus les transports en commun pourrait le faire afin de pouvoir économiser de l'essence en utilisant moins son véhicule. On s'attendrait à un signe positif sur la variable TRANSPORT EN COMMUN dans ce cas précis. Toutefois, un autre type d'individu pourrait aussi utiliser les transports en commun pour des raisons en lien avec l'endroit où il vit et son lieu de travail qui feraient en sorte que l'utilisation d'un véhicule ne soit tout simplement pas pratique. Dans ce cas-ci, on trouverait un signe négatif sur les probabilités d'achat des véhicules concernés. La variable CHANGEMENT VÉHICULE DÛ a été construite à partir de l'âge du plus vieux véhicule de l'individu et de l'âge auquel il change ses véhicules en général. Ces deux informations ont été collectées grâce au questionnaire et cela a permis de créer une variable binaire prenant la valeur de 1 si l'âge auquel l'individu change ses véhicules est plus petit que l'âge de son véhicule le moins récent et de 0 autrement.

Le deuxième groupe de variable représente des variables d'attitude environnementale (HEURES DEHORS, RECYCLAGE, COMPOST, DONS, GROUPE ENVIRONNEMENTAL, AFFECTÉ, PRÉOCCUPÉ). L'effet escompté du nombre d'heures passées dehors dans une semaine est positif. On s'attend à ce qu'un individu passant plus de temps en contact avec l'air extérieur soit plus conscient des problèmes liés à l'environnement et aux émissions atmosphériques des automobiles. L'individu plus conscient de ces problèmes aura donc plus de probabilités d'acheter un VHR ou un VEE,

³⁶ Les différentes classes de véhicules sont définies dans l'annexe 4.

ceteris paribus. On s'attend aussi à ce qu'un individu pratiquant le recyclage à une plus grande fréquence ait de plus grandes probabilités d'acheter un véhicule ayant un moins grand impact environnemental puisqu'un tel individu serait aussi plus conscientisé par les diverses problématiques liées aux émissions des automobiles. Pour les mêmes raisons de conscientisation environnementale, nous nous attendons à ce que les variables qui indiquent que les individus pratiquent le compost, qu'ils effectuent des dons à des groupes environnementaux, qu'ils font partie de groupes environnementaux, qu'ils se sentent affectés physiquement par la pollution causée par les automobiles et qu'ils se sentent préoccupés par la pollution causée par les automobiles aient toutes, toutes choses étant égales par ailleurs, un effet positif sur les probabilités d'acheter un VHR ou un VEE.

Le troisième groupe de variables est en rapport avec l'accès à une prise électrique (ACCÈS MAISON, ACCÈS TRAVAIL). Dans les deux cas, on s'attend à ce que les coefficients sur ces variables prennent un signe positif. Certes, un individu qui aurait accès facilement à une prise de courant à son domicile pour charger un VHR ou un VEE aurait plus de probabilités d'en acheter un que quelqu'un qui n'a pas accès à une telle prise. Le même raisonnement s'applique aussi pour l'accès à une prise de courant à son lieu de stationnement au travail.

Le dernier groupe de variable porte sur les caractéristiques sociodémographiques (FEMME, FRANÇAIS, ANGLAIS, LANGAGE, ÂGE, SCOLARITÉ, EN COUPLE, ENFANTS, FUMEUR, REVENU, MONTRÉAL, BANLIEUE) des individus sondés. On s'attend à ce qu'un individu ayant atteint un niveau de scolarité plus élevé ait plus de probabilités d'acheter un VHR ou un VEE, toutes choses étant égales par ailleurs, à cause du fait qu'un tel individu devrait mieux comprendre les problèmes futurs liés aux émissions des véhicules et ainsi attribuer une plus grande valeur aux dégâts environnementaux qu'un individu moins éduqué. Quant à l'effet d'être en couple, le signe attendu est le même que pour la variable qui indique le nombre d'enfants de l'individu sondé. Dans ces deux situations, nous nous attendons à ce que le fait d'être en couple et d'avoir un enfant de plus diminuent les probabilités d'acheter un de ces véhicules puisque ceux-ci peuvent demander certains compromis quant à l'autonomie du véhicule et à sa taille, ce qui est moins facile à

faire lorsque l'on est en couple et que l'on doit tenir compte de l'opinion de quelqu'un d'autre que soi-même dans les décisions d'achat de véhicules. En général, le fait d'avoir des enfants fait que l'on a besoin de plus d'espace dans un véhicule afin de pouvoir les transporter en plus du matériel les accompagnant pour leur sécurité et des activités. Donc, la flexibilité demandée par le transport d'autres personnes que soi-même pourrait diminuer les probabilités d'achat de VHR et VEE chez les individus préoccupés par ces besoins.

Quant au revenu, nous nous attendons à ce qu'un individu dont le revenu annuel de son ménage est plus élevé ait de plus grandes probabilités d'achat pour les véhicules examinés puisque la prime à l'achat par rapport à un véhicule traditionnel, relativement à son budget, sera moins grande que pour un individu dont le revenu familial annuel sera plus faible. La variable MONTRÉAL en est une binaire qui indique que l'individu sondé vit à Montréal. La variable BANLIEUE correspond à tous les autres lieux où les répondants habitaient au moment où l'évaluation contingente a été effectuée. Dans cet ensemble, on retrouve Laval, Joliette, la Rive-Nord de Montréal et la Rive-Sud. L'effet attendu de vivre à Montréal sur les probabilités d'acheter un VHR ou un VEE est négatif. Cela se justifie par le fait que l'île de Montréal est relativement petite et possède un réseau de transports en commun très développé. Le coût encouru par un individu montréalais pour se rendre à son lieu de travail est donc plus faible pour cette raison.

Pour l'individu vivant en banlieue, il y a moins de flexibilité dans le choix de moyen de transport pour se rendre à son lieu de travail à cause de la distance plus longue qu'il devra parcourir en général et du développement des transports en commun moins avancé en banlieue qu'à Montréal. Ainsi, un individu habitant à Montréal aura probablement plus de choix de moyens de transports pour se rendre à son travail et aura une probabilité moins grande d'acheter un véhicule, qu'il soit écoénergétique ou non, qu'un individu vivant en banlieue pour qui l'utilisation régulière d'un véhicule automobile est presque une nécessité. Donc, considérant le fait qu'on s'attende à ce qu'un individu habitant Montréal ait de moins grandes probabilités d'acheter n'importe quel type de véhicule qu'un individu identique vivant en banlieue, il est raisonnable de s'attendre à ce qu'un individu de Montréal ait de

moins grandes probabilités d'achat pour les VHR et VEE que l'individu de la banlieue. Le même raisonnement permet de s'attendre à ce que le signe de la variable binaire BANLIEUE soit positif. Quant aux effets d'être une femme, d'avoir le français comme langue maternelle, d'avoir l'anglais comme langue maternelle, d'avoir une langue autre que le français ou l'anglais comme langue maternelle, le fait d'être fumeur et l'âge ont été introduites à titre exploratoire. Les effets de ces variables restent complexes et nous ne poserons donc pas d'hypothèses sur leurs signes.

6.1.4 Modèles estimés et résultats

Ci-dessous, on retrouve un tableau qui indique les différents modèles estimés afin de déterminer l'importance de chaque groupe de variable étudié. Le but de cet exercice est d'avoir un modèle ayant le plus grand pouvoir explicatif possible tout en vérifiant si les résultats obtenus à travers le questionnaire sont cohérents avec la théorie microéconomique et le sens commun. Si les données obtenues dans le sondage convergent avec la théorie, cela ajoutera de la crédibilité aux données obtenues sur le terrain ainsi qu'à l'estimé de la portion des ventes attribuable à la subvention. Les modèles estimés sont représentés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Modèles estimés

Modèle 1	Probabilité = $f(R, A, P, X)$
Modèle 2	Probabilité = $f(R, A, P)$
Modèle 3	Probabilité = $f(R, P, X)$
Modèle 4	Probabilité = $f(A, P, X)$
Modèle 5	Probabilité = $f(R, A, X)$
Modèle 6	Probabilité = $f(Z)$

Où :

R : Variables de relation avec les véhicules (VÉHICULES, KM/AN, KM/JOUR, POURCENTAGE D'AUTOROUTE, ESSENCE PAR MOIS, COVOITURAGE, TRANSPORT EN COMMUN, PLUS PETIT VÉHICULE, CHANGEMENT VÉHICULE D'ÊTRE)

A : Variables d'attitude environnementale (HEURES DEHORS, RECYCLAGE, COMPOST, DONS, GROUPE ENVIRONNEMENTAL, AFFECTÉ, PRÉOCCUPÉ)

P : Variables indiquant l'accès à une prise de courant (ACCÈS MAISON, ACCÈS TRAVAIL)

X : Variables sociodémographiques (FEMME, FRANÇAIS, ANGLAIS, LANGAGE, SCOLARITÉ, EN COUPLE, ENFANTS, FUMEUR, REVENU, MONTRÉAL, BANLIEUE)

Z : Variables statistiquement significatives dans le modèle 1

Après avoir vérifié plusieurs ordonnancements des données pour modéliser les probabilités d'achat des VHR et VEE, nous avons décidé d'y aller avec un probit simple. Certes, ce dernier choix s'est fait après avoir testé les différents ordonnancements possibles pour la variable dépendante de probabilités d'achat et il s'avère que c'est dans le cas de l'ordonnement binaire de la variable dépendante que le modèle a le plus grand pouvoir explicatif et la plus grande vraisemblance. Nous avons donc créé de nouvelles variables binaires à partir des probabilités d'achat énoncées dans le questionnaire afin de déterminer les nouvelles variables dépendantes.

Le tableau 11 illustre les valeurs des coefficients associés aux variables indépendantes utilisées selon chaque modèle. La variable dépendante utilisée ici est « vhr4kbin ». Il s'agit d'une transformation de la réponse obtenue lorsque l'on demande aux gens d'estimer leurs probabilités d'achat d'un VHR sur l'échelle de 0 à 100 si le véhicule coûte 4 000\$ de plus qu'un véhicule traditionnel identique. La transformation effectuée est que l'on a

ordonnancé les résultats de telle sorte qu'une probabilité au dessus de 50 soit représentée par le chiffre 1, alors qu'une probabilité inférieure ou égale à 50 sera représentée par le chiffre 0 dans les données. Le coefficient associé à chaque variable indépendante vient ainsi nous indiquer, toutes choses étant égales par ailleurs, l'effet de cette variable sur les probabilités d'avoir beaucoup de chances (plus de 50%) d'acheter un VHR ou peu de chances (50% et moins) de le faire.

Dans le cadre de cette analyse particulière, nous avons décidé d'analyser les données pour les probabilités d'achat de VHR à un niveau de prime de 4 000\$ par rapport à un véhicule traditionnel identique puisque, en raison de la présence du rabais actuel de 8 000\$, c'est principalement à cette situation que les acheteurs devront faire face. Certes, les VHR représentent la classe de véhicule ayant le plus bénéficié du rabais avec 68,4% des rabais à l'achat du programme gouvernemental qui leurs ont été accordés du 1^{er} janvier 2012 au 31 mars 2013.

Dans le modèle, les variables LANGAGE et BANLIEUE ont été omises pour cause de colinéarité.

Tableau 11 : Résultats (Coefficients (écart-type))

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5	Modèle 6
<i>Variables de relation avec les véhicules</i>						
VÉHICULES	-0,3148 (0,4831)	0,8434 (0,3061)***	0,1918 (0,4821)		0,9013 (0,7498)	
KM/AN	-0,0002 (0,00008)**	$-2,55 \times 10^{-05}$ ($-3,71 \times 10^{-05}$)	-0,0000981 (0,0000663)		-0,0003 ($8,56 \times 10^{-06}$)***	$-9,25 \times 10^{-05}$ ($3,89 \times 10^{-05}$)**
KM/JOUR	0,0359 (0,0189)*	0,0245 (0,0136)*	0,0394 (0,01715)**		0,1178 (0,0367)***	0,0167 (0,0121)

POURCENTAGE D'AUTOROUTE	-0,2333 (1,0865)	-0,5689 (0,8495)	-1,2254 (1,0177)		-4,6677 (1,9661)**	
ESSENCE PAR MOIS	0,8792 (0,2561)***	0,1733 (0,1076)	0,3873 (0,2838)		0,4345 (0,3344)	0,4823 (0,1342)***
COVOITURAGE	-0,0385 (0,3236)	-0,0323 (0,2065)	1,1762 (0,5925)**		2,5027 (0,6305)***	
TRANSPORT EN COMMUN	0,8707 (0,4391)**	0,6783 (0,2823)**	0,7451 (0,4795)		1,6293 (0,6169)***	0,4405 (0,2215)**
PLUS PETIT VÉHICULE	0,0812 (0,1598)	0,0691 (0,0998)	0,0560 (0,1191)		0,2244 (0,2460)	
CHANGEMENT VÉHICULE DÛ	-1,0893 (0,6443)*	0,2132 (0,4431)	0,7899 (0,6650)		1,689 (1,2010)	-0,0248 (0,4369)
<i>Variables d'attitude environnementale</i>						
HEURES DEHORS	0,0830 (0,0245)***	0,0218 (0,0146)		0,0054 (0,0113)	0,0377 (0,0258)	0,0388 (0,0146)***
RECYCLAGE	-1,0438 (0,8763)	-0,3392 (0,2684)		0,3250 (0,2258)	-0,9635 (0,5094)*	
COMPOST	-2,5530 (0,9631)***	-1,0913 (0,5034)**		-0,3343 (0,5922)	-3,6894 (1,4170)***	-0,8222 (0,6282)
DONS	0,6188 (0,4132)	0,1192 (0,2328)		0,1688 (0,2454)	0,7449 (0,4377)*	
AFFECTÉ	0,4153 (0,3006)	0,2397 (0,1347)*		0,0191 (0,1218)	-0,4862 (0,2311)**	
PRÉOCCUPÉ	0,2398 (0,2467)	0,1424 (0,1301)		0,1773 (0,1388)	1,0622 (0,3297)***	
<i>Variables indiquant l'accès à une prise</i>						
ACCÈS MAISON	0,5205 (0,5624)	-0,0117 (0,3464)	0,0213 (0,6387)	-0,7036 (0,4298)		
ACCÈS TRAVAIL	2,0706 (0,9022)**	0,4407 (0,4861)	0,4794 (0,6501)	0,1376 (0,6153)		1,1344 (0,6341)*
<i>Variables sociodémographiques</i>						
FEMME	-0,9994 (0,8595)		-0,0078 (0,4489)	0,2629 (0,4388)	-1,6180 (0,8130)**	
FRANÇAIS	-0,8349 (0,7884)		1,7894 (1,0199)*	1,1184 (0,6716)*	4,3577 (1,0507)***	

ANGLAIS	-1,7820 (1,2578)		-0,7801 (1,0000)	-0,4447 (0,9705)	-0,8340 (1,3323)	
ÂGE	-0,0230 (0,0206)		-0,3010 (0,0206)	-0,0225 (0,0150)	-0,0397 (0,0267)	
SCOLARITÉ	0,7570 (0,3491)**		1,0015 (0,5732)*	0,6489 (0,2635)	1,4685 (0,4623)***	0,6248 (0,2217)***
EN COUPLE	0,5524 (0,5911)		-1,2814 (0,9354)	-0,1835 (0,4388)	-2,5521 (0,8404)***	
ENFANTS	0,1394 (0,3137)		0,0679 (0,2201)	-0,0827 (0,1435)	0,4941 (0,3548)	
REVENU	$0,212 \times 10^{-04}$ ($6,89 \times 10^{-06}$)***		$7,04 \times 10^{-06}$ ($9,63 \times 10^{-06}$)	$3,33 \times 10^{-06}$ ($5,99 \times 10^{-06}$)	$2,8 \times 10^{-05}$ ($1,13 \times 10^{-05}$)**	$1,53 \times 10^{-05}$ ($5,69 \times 10^{-06}$)***
FUMEUR	1,8020 (0,6370)***		0,4579 (0,6248)	0,5807 (0,4365)	1,7343 (1,0311)*	1,1193 (0,4950)**
MONTREAL	-0,2351 (0,6786)		-0,7967 (0,5463)	0,1416 (0,4459)	-2,4525 (0,9206)***	
CONSTANTE	-4,4988 (2,9497)	-3,5155 (1,4564)**	-4,8332 (3,6268)	-2,1870 (1,4286)	-10,4652 (4,3212)**	-4,8704 (1,1599)***
PSEUDO R ²	0,5616	0,2068	0,4718	0,3637	0,6574	0,4013
FONCTION DE VRAISEMBLANCE	-22,1901	-40,5702	-19,9411	-28,0140	-12,7802	-31,2924

* Significatif à 10%

** Significatif à 5%

*** Significatif à 1%

En regardant ces données, on constate que les pseudo-R² varient beaucoup d'une spécification à l'autre. Certes, il va de 0,207 dans le modèle où l'on ne tient pas compte des variables sociodémographiques à 0,657 dans celui où toutes les variables sont présentes sauf celles liées à l'accès à une prise. Parmi ces spécifications, nous avons choisi d'utiliser le modèle 5, excluant les variables d'accès à une prise, pour comparer les signes obtenus à partir de la régression à ceux attendus. En plus d'avoir un pouvoir explicatif plus grand que les autres, cette spécification est celle qui maximise la fonction de vraisemblance parmi ces modèles, malgré les contraintes qui y sont liées par rapport au modèle non-contraint (modèle 1).

Dans le modèle 5, 17 des variables ont un effet statistiquement significatif sur le fait de passer d'avoir des probabilités faibles d'acheter un VHR à avoir des probabilités élevées d'en acheter un (KM/AN, KM/JOUR, POURCENTAGE D'AUTOROUTE, COVOITURAGE, TRANSPORT EN COMMUN, RECYCLAGE, COMPOST, DONS, AFFECTÉ, PRÉOCCUPÉ, FEMME, FRANÇAIS, SCOLARITÉ, EN COUPLE, REVENU, FUMEUR, MONTRÉAL).

Dans le groupe de variables de relation avec les véhicules, parmi les variables ayant un effet statistiquement significatif, seule celle représentant le kilométrage annuel du répondant a un signe différent de ce à quoi on s'attendait. Un effet négatif du kilométrage annuel sur les probabilités d'achat pourrait provenir du fait que les individus préféreraient se tourner vers des véhicules utilisant des technologies moins dispendieuses que celles utilisées dans les VHR tout en ayant un bon rendement sur l'autoroute. Une autre raison possible pour le signe de la variable du kilométrage annuel qui diffère de nos attentes serait liée au confort dans le véhicule. En tenant compte de cet élément, des individus parcourant plus de kilomètres annuellement voudront peut-être plutôt se procurer des véhicules plus gros et spacieux que les VHR et VEE qui sont généralement de taille compacte ou sous-compacte. Une augmentation du kilométrage quotidien a un effet positif sur les probabilités d'achat, tel qu'attendu. L'effet d'une augmentation du pourcentage du kilométrage effectué sur l'autoroute est bel et bien négatif. Quant aux effets d'une augmentation du niveau d'utilisation du transport en commun et du covoiturage, ils sont positifs comme ce à quoi nous nous attendions. Quant aux variables VÉHICULES, ESSENCE PAR MOIS, PLUS PETIT VÉHICULE et CHANGEMENT VÉHICULE DÛ, leurs effets ne sont pas statistiquement significatifs.

Pour les variables d'attitude environnementale, le nombre d'heures passées à l'extérieur dans une semaine n'a pas un effet statistiquement significatif sur les probabilités d'achat. Quant au niveau de recyclage effectué par le répondant, le fait qu'il effectue du compostage et le niveau auquel il se sent affecté physiquement par la pollution causée par les

automobiles, les effets observés sont négatifs et statistiquement significatifs. Ces résultats vont à l'encontre de nos attentes. Pour le recyclage et le compost, cela pourrait être causé par le fait que l'individu considérerait avoir fait sa part pour l'environnement avec ces habitudes et ne jugerait pas l'action de substituer son véhicule pour un véhicule plus écoénergétique comme étant nécessaire, compte tenu de ses habitudes déjà bonnes pour l'environnement. Une explication pour l'effet négatif du niveau auquel l'individu se sent affecté physiquement par la pollution provenant des automobiles serait que les répondants se sentaient peu affectés par la pollution automobile en général³⁷. Avec ce désaccord général, les individus se sentant vraiment affectés physiquement pourraient ne pas aimer les véhicules automobiles à un tel point qu'ils rejetteraient même l'idée d'en acheter et révéleraient des probabilités d'achat très faibles en général. À partir du modèle examiné, on voit aussi que la fréquence à laquelle les individus effectuent des dons à des organismes environnementaux, en plus du niveau auquel ils se sentent préoccupés par la pollution causée par les automobiles, ont des effets positifs et statistiquement significatifs sur les probabilités d'achat des VHR, tel qu'attendu.

Le groupe de variables d'accès à une prise électrique n'a pas été retenu dans cette spécification. Certes, omettre ces variables permettait d'obtenir un modèle avec un meilleur pouvoir explicatif et un niveau de vraisemblance plus grand par rapport au modèle non-contraint qui contenait toutes les variables explicatives.

Quant au groupe de variables sociodémographiques, seules les variables ANGLAIS, ÂGE et ENFANTS n'ont pas d'effets statistiquement significatifs sur les probabilités d'achat selon le modèle estimé. On remarque que l'effet d'avoir un niveau de scolarité plus élevé est positif comme ce à quoi nous nous attendions. Aussi, l'effet d'être en couple est le même que dans nos attentes. Il est négatif. Être en couple diminuera donc les probabilités d'achat de VHR. L'effet du revenu correspond aussi à nos attentes puisqu'il est positif. Un

³⁷ Dans l'annexe 1, on voit que la moyenne des réponses à cette question est de 2,33. Cela veut dire que la moyenne des gens est plus près d'être en désaccord (avec le fait qu'ils se sentent affectés physiquement par la pollution causée par les automobiles) que d'être neutre par rapport à l'affirmation énoncée dans la question.

individu avec des revenus familiaux annuels plus élevés aura de plus grandes probabilités d'acheter un VHR. L'effet de vivre à Montréal dans le modèle correspond aussi à l'effet anticipé. Il a un impact négatif sur les probabilités d'achat. La variable BANLIEUE a été omise pour cause de colinéarité mais, puisque les individus représentés par cette variable sont tous ceux ne vivant pas à Montréal par construction, le signe aurait été nécessairement positif, comme dans les attentes. Nous n'avons pas d'attentes pour les variables FEMME, FRANÇAIS, ANGLAIS, LANGAGE, ÂGE ET FUMEUR en raison de leur complexité, mais certaines d'entre elles ont quand même eu des effets statistiquement significatifs sur les probabilités d'achat qui sont intéressants à noter. Certes, être une femme et le fait d'avoir le français comme langue maternelle semblent avoir des effets respectivement négatifs et positifs sur les probabilités d'acheter un VHR. Quant au fait d'être un fumeur, il a un effet positif sur les probabilités d'achat. Les effets de ces dernières variables sont complexes et difficiles à expliquer sans poser de jugements sur les groupes concernés.

À la lumière de cet exercice, nous constatons que la majorité des effets estimés, lorsqu'ils sont statistiquement significatifs, correspondent aux attentes que l'on pourrait avoir grâce à la théorie microéconomique et au sens commun. Donc, les résultats de cette évaluation contingente semblent crédibles de ce point de vue. Quant à la représentativité de l'échantillon, comme discuté plus tôt, elle correspond bien au profil de la population québécoise par rapport à ses revenus, son âge, son pourcentage de femmes et son usage du français comme langue première. Cela ajoute encore de la crédibilité aux résultats de cette évaluation contingente et nous permet d'utiliser les valeurs de probabilités d'achat obtenues comme étant des valeurs représentatives des préférences des individus sondés. Les portions des demandes de VHR et VEE attribuables au programme de rabais gouvernemental proviendront ainsi d'estimés valides.

6.2 Bénéfices tangibles

Les bénéfices tangibles analysés vont être regroupés en deux catégories. D'abord, nous estimerons les bénéfices liés à la diminution de la consommation d'essence induite par la

substitution de véhicules traditionnels par des VHR et VEE plus écoénergétiques. Ensuite, la diminution des coûts de fonctionnement liée à des changements d'huile moins fréquents ou même absents représentera un bénéfice que nous estimerons.

6.2.1 Économies d'essence

En diminuant le coût d'acheter un VHR ou un VEE, le Gouvernement du Québec incite certains consommateurs à acheter un de ces véhicules plutôt qu'un véhicule traditionnel. Certes, nous avons déterminé dans la section 4.3 qu'il fallait trouver un substitut afin de comparer sa consommation en cycle mixte à celle d'un VHR ou d'un VEE. Ici, nous avons effectué une moyenne des consommations des Toyota Corolla, Honda Civic, Honda Fit, Ford Focus et Chevrolet Cruze (turbo) afin d'obtenir une consommation mixte moyenne de 6,5 litres d'essence aux cent kilomètres. La moyenne effectuée n'est pas pondérée pour les ventes, car nous ne jugeons pas qu'il soit nécessaire de le faire compte tenu de la grande homogénéité dans les consommations d'essence de ces substituts potentiels³⁸. Ensuite, nous avons effectué une moyenne pondérée pour le nombre de VHR en circulation en date du 31 décembre 2012 de la consommation d'essence de ceux-ci quand ils ne sont pas en mode électrique. Nous avons obtenu une moyenne de 6,41 litres aux cent kilomètres. Cette moyenne élevée provient du fait que le principal avantage de ces véhicules se trouve dans leur capacité de rouler sur une distance importante en mode électrique seulement. Lorsque la batterie est épuisée, le moteur à essence, dans le cas de la Chevrolet Volt, n'est présent que pour recharger la batterie et aider le véhicule à continuer de rouler, plutôt que comme élément principal du groupe motopropulseur du véhicule.

En utilisant cette consommation moyenne pour les VHR et la distance moyenne parcourue annuellement par les véhicules de moins de 4,5 tonnes au Québec, il est possible de trouver les économies d'essence liées à la substitution d'un véhicule traditionnel par un VHR pour chacun des scénarios envisagés. Ceux-ci sont encore une fois les scénarios où 50%, 70% et

³⁸ Consommations mixtes (L/100km) : Toyota Corolla (6,9), Honda Civic(6,2), Honda Fit (6,3), Ford Focus (6,4), Chevrolet Cruze (turbo) (6,6)

100% des kilomètres parcourus respectivement par les VHR sont électrifiés. Quant aux économies d'essence liées à la substitution d'un véhicule traditionnel pour un VEE, elles sont les mêmes que pour le scénario où 100% des kilomètres parcourus par les VHR sont électrifiés. Le tableau suivant présente les économies d'essence annuelles selon chaque scénario à la fois pour l'ensemble des véhicules ayant bénéficié des rabais et pour ceux qui auraient été achetés grâce au programme.

Tableau 12 : Litres d'essence économisés annuellement

Économies d'essence	VHR-50%³⁹	VHR-70%	VHR-100%	VEE
Litres par an par véhicule	486,57	675,88	959,84	959,84
Litres par an pour tous les véhicules	269 266,36	374 030,99	531 177,95	245 336,25
Pourcentage des véhicules achetés grâce au programme	46,6%	46,6%	46,6%	50,08%
Litres par an - grâce au programme	125 478,12	174 298,44	247 528,92	122 864,39

Les quantités présentées dans la rangée « Litres par an – grâce au programme » seront récurrentes pour chaque année de l'horizon temporel de 8 ans considéré. Le prix de l'essence utilisé pour les années futures est généré en fonction de la croissance moyenne du prix de l'essence à la rampe de 1999 à 2013 au Québec⁴⁰. Ceci représente une croissance espérée annuelle de 11,85%. Pour les bénéfices de 2013, nous utiliserons les données actuelles sur les prix à la rampe durant ces années afin d'avoir des résultats plus précis. Quant aux bénéfices de 2012, ils ne seront pas considérés. L'horizon temporel de 8 ans considéré se déroulera donc de 2013 à 2020 puisque nous n'avons pas de données quant

³⁹ Les litres d'essence économisés par année par véhicule dans le cadre du scénario de VHR-50% représentent plus de la moitié des économies en litres d'essence avec le scénario d'électrification de 100% du kilométrage des VHR. Cela provient du fait que le VHR consommera moins d'essence que le véhicule traditionnel équivalent lorsqu'il n'est pas en mode électrique.

⁴⁰ Croissance du prix moyen à la rampe au Québec de 24,4% (1999-2000), 56,7% (2000-2001), -8,8% (2001-2002), -0,6% (2002-2003), 11,7% (2003-2004), 21,6% (2004-2005), 8,6% (2005-2006), 6,3% (2006-2007), 18,5% (2007-2008), -25,7% (2008-2009), 13,9% (2009-2010), 25,9% (2010-2011), 4,9% (2011-2012) et -1,8% (2012-2013).

aux ventes mensuelles de VEE et VHR qui nous auraient permis d'estimer les bénéfices et coûts des véhicules de leur acquisition à la fin de 2012.

6.2.2 Changements d'huile

Parmi les bénéfices de la substitution d'un véhicule traditionnel par un VHR ou un VEE, on retrouve la diminution de la fréquence des changements d'huile. À partir des manuels du propriétaire des Toyota Corolla, Honda Civic, Ford Focus et Chevrolet Cruze (turbo), nous avons effectué une moyenne des intervalles recommandés entre deux changements d'huile par les manufacturiers. Cela nous a donné un intervalle de 11 000 km recommandé entre deux changements d'huile. Avec la distance moyenne annuelle parcourue au Québec de 14 766,84 km pour les véhicules de moins de 4,5 tonnes, nous pouvons trouver une fréquence annuelle de 1,34 changement d'huile par année.

Dans la section 4.4.1, nous avons expliqué le choix d'un coût de 29,97\$⁴¹ par changement d'huile afin de trouver une borne minimale des bénéfices liés à la réduction de la fréquence de ceux-ci. Quant à la fréquence des changements d'huile pour les VEE, on sait que ces derniers n'en nécessitent pas. Les bénéfices de la substitution pour un VEE représenteront l'ensemble des changements d'huile qui auraient été faits avec le véhicule traditionnel auquel il est substitué pendant les huit années de l'horizon durant lequel nous analysons le programme. Quant aux VHR, nous effectuerons une moyenne pondérée de la fréquence auxquelles les Chevrolet Volt et Prius branchable doivent effectuer leurs changements d'huile afin d'évaluer les bénéfices de passer d'un véhicule traditionnel à un VHR. La Fisker Karma ne sera pas considérée compte tenu de l'absence de données disponibles quant à l'entretien requis. Certes, en plus d'être presque deux fois moins présente sur nos routes que la Prius branchable, la Fisker Karma n'est actuellement plus en production. Il reste que l'omission de ces véhicules de notre moyenne pour les fréquences de changements d'huile ne devrait pas avoir un grand impact sur cette moyenne puisque la

⁴¹ Coût provenant des prix respectifs de 22,97\$ pour 5 L d'huile Castrol GTX 5W-30 et 7\$ pour un filtre à huile Bosch. Ce sont les éléments inclus dans le changement d'huile le moins dispendieux chez Wal-Mart.

Fisker Karma représentait 1,41% des VHR immatriculés au Québec en date du 31 décembre 2012.

Ainsi, nous obtenons une fréquence de changement d'huile de 0,506 changement d'huile par année, soit un changement d'huile aux 23,72 mois. Ceci représente une différence de 8,4 jours avec l'intervalle recommandé pour la Chevrolet Volt qui est le modèle choisi par 96,04% des propriétaires de VHR immatriculés à la date mentionnée précédemment. Les bénéfices liés à la diminution des changements d'huile pour les VHR et leur absence pour les VEE se trouvent dans le tableau suivant. Comme précédemment, les bénéfices sont ajustés afin qu'ils représentent seulement ceux liés aux véhicules qui auraient été achetés grâce au programme de rabais.

Tableau 13 : Bénéfices liés à la diminution dans la fréquence des changements d'huile

Bénéfices changements d'huile	VEE	VHR
Fréquence moyenne du changement d'huile pour le substitut	11 000	11 000
Kilométrage moyen annuel (km)	14 766,84	14766,84
Coût minimal	29,97	29,97
Fréquence moyenne annuelle pour le nouveau véhicule	0	0,51
Bénéfice annuel par véhicule (\$)	40,23	14,81
Bénéfices annuels totaux (\$) liés au programme	5 149,99	3 819,92

Ainsi, nous devons considérer des flux annuels de 5 149,99\$ pour les VEE en bénéfices liés à la diminution du nombre de changements d'huile et de 3 819,92\$ pour les VHR lorsqu'il sera temps de trouver la valeur actualisée nette de l'implantation du programme de rabais étudié. Ces flux seront considérés à partir de 2013.

6.3 Bénéfices intangibles

Dans cette section, nous estimerons les bénéfices liés à la diminution des émissions de polluants atmosphériques engendrée par l'utilisation de VHR et de VEE plutôt que des véhicules traditionnels semblables. Nous utiliserons le transfert de valeurs environnementales afin d'attribuer une valeur aux divers polluants qui n'ont pas été émis grâce aux économies d'essences évaluées plus tôt en 6.2.1. Certes, à partir de tableaux liés à l'*Urban Transport Emissions Calculator* (UTEC) de Transport Canada, on retrouve entre autres les émissions de CO₂ produites par la combustion d'un litre d'essence en plus des émissions de PM_{2,5}, PM₁₀, NO_x, SO₂ et de composés organiques volatils (COV) en grammes par kilomètre roulé. Les quantités d'émissions produites sont aussi disponibles pour les VHR et VEE. Le tableau suivant indique les quantités de chaque polluant émises par les véhicules traditionnels et les véhicules écoénergétiques étudiés en plus d'indiquer la quantité de CO₂ émise par la combustion d'un litre d'essence qui est la même pour les véhicules traditionnels et les VHR.

Tableau 14 : Émissions des différents types de véhicules

Émissions	Véhicules légers à passagers	VHR	VEE	Hybride
CO ₂ (g/L)	2 289	2 289	0	2 289
NO _x (g/km)	0,362	0,101	0	0,202
SO ₂ (g/km)	0,00345	0,00107	0	0,00213
COV (g/km)	0,432	0,0308	0	0,0616
PM _{2,5} (g/km)	0,00694	0,00193	0,00292	0,00386
PM ₁₀ (g/km)	0,0153	0,00427	0,00921	0,00853

En plus des VHR et VEE, nous avons ajouté à ce tableau les émissions des véhicules hybrides afin de montrer que les émissions des VHR ont été construites dans l'UTEC de manière à ce que le VHR fonctionne comme un véhicule hybride la moitié du temps et n'émette aucune émission durant l'autre moitié des kilomètres effectués afin d'obtenir des émissions représentant la moitié de celles des véhicules hybrides. Nous allons utiliser la

même méthodologie afin d'estimer les émissions des VHR selon les scénarios où 70% et 100% de leur kilométrage est électrifié. Il est à noter que les seuls polluants émis par les VEE sont des matières particulaires. Ces émissions sont attribuables à l'usure des freins et des pneus du véhicule lors de son utilisation (Transports Canada, 2011).

Connaissant la quantité d'essence économisée grâce au programme et le kilométrage moyen annuel effectué par les conducteurs de véhicules de moins de 4,5 tonnes au Québec, il nous suffit maintenant d'avoir un coût marginal des émissions de polluants atmosphériques et du CO₂ afin de déterminer les bénéfices de la réduction des émissions engendrée par la substitution de véhicules traditionnels par des VHR et VEE. Certes, comme justifié plus tôt dans la section 4.3, nous allons utiliser les valeurs provenant de l'étude de Muller et Mendelsohn (2007) que nous avons examiné dans la revue de littérature afin d'estimer les bénéfices sociaux liés à la diminution des émissions de NO_x, SO₂, PM_{2,5}, PM₁₀ et de COV. Dans cet article, on retrouve les coûts marginaux des émissions de chacun de ces polluants en dollars US de 2002. Nous convertissons ces valeurs en dollars canadiens de 2002 et les transformons en dollars de 2012 à l'aide de l'IPC. Quant aux coûts marginaux du dioxyde de carbone, nous utilisons les valeurs provenant d'une méta-analyse de Tol (2011). La valeur moyenne du coût marginal du CO₂ pour les études utilisant un taux de préférence intertemporelle de 3% est de 19\$ US de 2011. Comme pour les autres polluants atmosphériques, nous convertissons cette valeur en dollars canadiens de 2011 pour ensuite actualiser la valeur obtenue en dollars canadiens de 2012. Le tableau suivant indique ainsi les coûts marginaux des polluants mentionnés et du CO₂ en dollars canadiens de 2012.

Tableau 15 : Coûts marginaux sociaux des émissions

Coûts sociaux (\$/kg)	USD2002	USD2011	CAD2012
CO ₂		0,019	0,0195
NO _x	0,3		0,55
SO ₂	1,2		2,1999
COV	0,4		0,7333
PM _{2,5}	2,2		4,0331
PM ₁₀	0,35		0,6416

Ainsi, nous avons tous les éléments nécessaires pour calculer les coûts marginaux des émissions qui n'ont pas été produites pour chaque VEE et VHR sur nos routes selon les différents scénarios d'électrification du kilométrage pour ces derniers. Lorsque l'on a les bénéfices de la diminution des émissions par véhicule, on peut calculer les bénéfices pour l'ensemble des véhicules qui auraient été achetés grâce au programme. Ceci nous donne les bénéfices intangibles totaux pour une année. Ces bénéfices représenteront un flux monétaire qui se répétera à chaque année de l'horizon temporel analysé, soit 8 ans dans notre cas. Les bénéfices liés à la diminution des émissions atmosphériques pour les VHR et VEE sont donc présentés en dollars canadiens de 2012 dans le tableau suivant. Comme pour les autres bénéfices liés aux VEE et VHR, ils seront considérés à partir de 2013 en raison de notre manque de données sur la distribution des ventes en 2012. En guise d'exemple, nous montrons, dans le prochain paragraphe, comment nous avons calculé les bénéfices annuels totaux liés à la diminution des émissions de CO₂ sous le scénario d'électrification de 70% du kilométrage des VHR.

Pour obtenir les valeurs des bénéfices liés à la diminution des émissions de CO₂, nous trouvons d'abord qu'un véhicule traditionnel produirait 2 269,07 kg de CO₂ en une année. Nous devons ensuite déterminer la quantité de CO₂ émise par un VHR ou un VEE selon chaque scénario. Ainsi, dans le scénario VHR-70%, 70% du kilométrage annuel du véhicule serait effectué en mode électrique et permettrait de n'avoir aucune émission de CO₂. La portion résiduelle du kilométrage se ferait en mode de propulsion à essence. Sachant que le VHR consommerait 6,41 litres d'essence par tranche de 100 kilomètres parcourus, nous pourrions trouver la quantité de CO₂ émise par le VHR en une année. Nous pourrions effectuer la différence entre les émissions annuelles de CO₂ du véhicule traditionnel substitut (2 269,07 kg) et celles du VHR dans le cadre du scénario d'électrification de 70% de son kilométrage (671,30 kg) afin de déterminer, grâce aux valeurs des coûts marginaux sociaux des émissions du tableau 15, les bénéfices de la diminution des émissions de CO₂ liée à la substitution dans ce scénario d'un véhicule traditionnel par un VHR. Ensuite, il faudra tenir compte de la portion des ventes de VHR et VEE attribuable au rabais (46,6% pour les VHR et 50,08% pour les VEE) et du nombre total de chacun de ces types de véhicules considérés ayant bénéficié du rabais en 2012

(553,4 VHR et 255,6 VEE) afin de calculer les bénéfices annuels totaux liés à la diminution des émissions de CO₂ dans le cadre du scénario d'électrification étudié. Le même calcul sera effectué pour les autres scénarios et polluants afin d'estimer les bénéfices annuels totaux liés à la diminution des émissions que l'on retrouve dans le tableau 16.

Tableau 16 : Bénéfices annuels totaux liés à la diminution des émissions

Bénéfices des émissions réduites (CAD12)	VHR-50%	VHR-70%	VHR-100%	VEE
CO₂ équivalent	5 778,95	8 027,40	11 400,06	5 658,58
NO_x	546,63	631,24	758,16	376,32
SO₂	19,94	23,55	28,90	14,35
COV	1 120,34	1 154,74	1 206,35	598,79
PM_{2,5}	76,95	76,95	76,95	30,65
PM₁₀	26,95	26,95	26,95	7,39
Total	7 569,76	9 940,82	13 497,36	6 686,06

Dans ce chapitre, nous avons examiné les bénéfices pour la société québécoise liés à l'implantation du programme de rabais à l'achat ou à la location d'un véhicule électrique neuf. Les bénéfices les plus importants étaient les bénéfices tangibles liés aux économies d'essence encourues par les propriétaires de VHR et VEE. Quant aux économies en changements d'huile, ce sont aussi les propriétaires des nouveaux véhicules qui en profitent. Les bénéfices intangibles liés à la diminution des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre ont pu profiter à toute la société québécoise, mais ils étaient d'ordre beaucoup moins important que les économies de carburant estimées. Ce sont donc les propriétaires de VHR et VEE qui vont recevoir la plus grande part des bénéfices. Aussi, dans ce chapitre, nous avons justifié un des éléments les plus importants de ce mémoire. Celui-ci était l'utilisation des données recueillies sur le terrain grâce à notre questionnaire afin d'estimer les proportions des VHR et VEE achetés qui l'auraient été grâce au programme.

7. Valeur actualisée nette

Dans ce chapitre, nous allons calculer la valeur actualisée nette du programme de rabais à l'achat ou à la location d'un véhicule électrique neuf du Gouvernement du Québec pour l'année 2012. De plus, nous allons effectuer des analyses de sensibilité sur le taux d'actualisation, l'horizon temporel considéré, le pourcentage du kilométrage des VHR électrifié, la portion des ventes de véhicules attribuable au programme et le coût marginal de la pollution. Nous examinerons aussi l'influence potentielle d'un changement dans le coût marginal des fonds (CMF) du Gouvernement du Québec sur la VAN. Ces analyses nous permettront de savoir si la VAN est robuste à un changement dans les valeurs que prennent chacune des variables mentionnées précédemment. Elles nous aideront aussi à avoir une vue plus globale des facteurs influençant le plus la rentabilité économique de ce programme.

7.1 Scénario de base

Tout d'abord, nous analysons le scénario de base avec un taux d'actualisation de 8%, un horizon temporel de 8 ans, 70% du kilométrage des VHR électrifié et des coûts marginaux des polluants et du CO₂ correspondant à ceux estimés par Muller et Mendelsohn (2007) et Tol (2011). Celui-ci nous donne une VAN du programme de rabais de 417 812,34\$. Cela veut dire que l'ensemble des bénéfices actualisés attribuables au programme sur l'horizon temporel de 8 ans avec un taux d'actualisation de 8% sont plus grands que les coûts actualisés engendrés par ce programme, et ce, de plus de 400 000\$. Il est possible de voir dans le tableau 17 tous les éléments qui influencent la VAN.

Tableau 17 : Coûts, bénéfices et VAN dans le cadre du scénario de base

Coûts	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Valeur actualisée
Rabais et administration	1 635 534,00	0	0	0	0	0	0	0	0	1 635 534,00 \$
Électricité	0	18 604,00	18 604,00	18 604,00	18 604,00	18 604,00	18 604,00	18 604,00	18 604,00	106 910,47 \$
Total	1 635 534,00	18 604,00	18 604,00	18 604,00	18 604,00	18 604,00	18 604,00	18 604,00	18 604,00	1 742 444,47 \$
Bénéfices										
Essence	0	239 661,83	268 057,21	299 816,90	335 339,52	375 070,89	419 509,67	469 213,61	524 806,52	2 013 161,30 \$
Changements d'huile	0	8 969,91	8 969,91	8 969,91	8 969,91	8 969,91	8 969,91	8 969,91	8 969,91	51 546,83 \$
Émissions	0	16 626,88	16 626,88	16 626,88	16 626,88	16 626,88	16 626,88	16 626,88	16 626,88	95 548,68 \$
Total	0	265 258,62	293 654,00	325 413,69	360 936,31	400 667,68	445 106,46	494 810,40	550 403,31	2 160 256,81 \$
VAN	(1 635 534,00) \$	228 383,91 \$	235 811,04 \$	243 555,43 \$	251 624,47 \$	260 026,12 \$	268 768,90 \$	277 861,86 \$	287 314,62 \$	417 812,34 \$

Cette VAN est positive, mais on peut toujours se questionner quant à savoir si son signe pourrait changer advenant des variations dans les hypothèses importantes que nous avons posé tout au long de cette étude. C'est ce que nous allons voir dans les prochaines sections.

7.2 Scénarios alternatifs

7.2.1 Taux d'actualisation et électrification du kilométrage des VHR

Dans cette section, nous allons présenter les valeurs que prend la VAN à la suite de certaines modifications quant aux hypothèses de base dont nous parlons au début de ce chapitre. Ainsi, le prochain tableau indique les différentes valeurs que prend la VAN à la suite d'une modification du taux d'actualisation et du pourcentage d'électrification du kilométrage des VHR. Ces deux éléments sont assez importants à vérifier compte tenu de l'incertitude relative dans le pourcentage du kilométrage que les utilisateurs vont vraiment électrifier puisque nous n'avons pas accès à des données sur la distribution du kilométrage quotidien des individus dans la population. Dans le tableau suivant, on peut constater que la VAN reste positive dans la majorité des cas. Elle devient seulement négative lorsque nous utilisons un scénario où 50% du kilométrage des utilisateurs de VHR est électrifié avec un

taux d'actualisation d'au moins 8%. Dans les sept autres cas, le programme est rentable économiquement pour la société québécoise.

Tableau 18 : VAN du projet en fonction du taux d'actualisation et de l'électrification du kilométrage des VHR

Scénarios d'électrification	Taux d'actualisation de 6%	Taux d'actualisation de 8%	Taux d'actualisation de 10%
50% des km électrifiés	80 299,77 \$	(62 916,66) \$	(189 243,76) \$
70% des km électrifiés	607 244,68 \$	417 812,34 \$	250 778,25 \$
100% des km électrifiés	885 252,92 \$	674 508,70 \$	488 636,88 \$

Dans les sept cas où la VAN est positive, la présence de ce programme semble représenter un gain économique pour la société québécoise d'un montant variant entre 80 299,77\$ et 885 252,92\$. Malgré cette rentabilité probable, nous allons quand même examiner plusieurs autres scénarios afin de voir en vertu de quelles conditions la VAN reste positive.

7.2.2 Horizon temporel

Après avoir calculé la VAN du programme de rabais selon des horizons temporels de 6, 7, 8 et 12 ans, nous constatons que cette dernière reste positive, à condition que l'horizon considéré soit d'au moins 7 ans. Pour les horizons de 6 ans et moins, le programme ne semble pas rentable économiquement pour la société québécoise puisque les bénéfices sur une telle période n'arrivent pas à compenser pour les coûts importants encourus durant la première période. Les VEE et VHR doivent donc être utilisés pendant au moins 7 ans par

leurs propriétaires afin que le programme soit rentable économiquement pour la société. On peut voir l'influence de l'horizon temporel sur la VAN dans le tableau qui suit.

Tableau 19 : VAN en fonction de l'horizon temporel considéré

Horizon temporel	VAN
6 ans	(135 635,98) \$
7 ans	130 502,37 \$
8 ans	417 812,34 \$
12 ans	1 672 727,66 \$

7.2.3 Scénario avec valeurs des émissions nulles

Aussi, nous avons décidé de calculer la VAN dans un cas où la société accorderait une valeur nulle aux réductions des émissions de CO₂ et de polluants atmosphériques. Dans ce scénario, nous allons vérifier si le programme est quand même rentable économiquement en tenant seulement compte des coûts et bénéfices tangibles qui lui sont associés. Aussi, nous avons choisi de faire varier le taux d'actualisation entre 6% et 8% en plus de faire varier le pourcentage d'électrification du kilométrage des VHR. Ceci nous permettra d'avoir une vue plus globale de la variation de la VAN quand on n'accorde aucune valeur à la diminution d'émissions de polluants et de CO₂. Nous obtenons une VAN positive seulement lorsqu'au moins 70% du kilométrage des VHR est électrifié. Quand c'est le cas, nous trouvons une VAN qui varie entre 162 075,07\$ et 759 918,05\$. Autrement, nous trouvons une VAN négative variant entre 8 225,93\$ et 265 297,50\$. Donc, le programme représenterait une perte économique pour la société québécoise si les propriétaires de VHR arrivaient seulement à électrifier 50% de leur kilométrage quotidien. Il reste que cette situation est peu probable puisque l'autonomie en mode électrique moyenne des VHR pondérée par leurs ventes est plus élevée que le kilométrage moyen quotidien des Québécois. L'autonomie des VHR en mode électrique variant en fonction des conditions climatiques et des habitudes de conduite, le scénario où 70% des kilomètres sont électrifiés

est le plus réaliste. Ce dernier pourrait même sous-estimer les bénéfices liés à l'utilisation d'un VHR.

Tableau 20 : VAN du programme avec des valeurs de diminution d'émissions nulles

Scénario d'électrification	Taux d'actualisation de 6%	Taux d'actualisation de 8%	Taux d'actualisation de 10%
50% des km électrifiés	(8 225,93) \$	(144 839,71) \$	(265 297,50) \$
70% des km électrifiés	503 995,19 \$	322 263,67 \$	162 075,07 \$
100% des km électrifiés	759 918,05 \$	558 521,87 \$	380 959,82 \$

Les valeurs de la VAN représentées dans le tableau 20 ne sont pas extrêmement différentes de celles trouvées dans le cas où nous considérons aussi les bénéfices liés aux émissions. Ceci s'explique par le fait que les bénéfices de la diminution des émissions de polluants et de CO₂ sont seulement de 38,55\$ et 52,23\$ par année pour les VHR et VEE respectivement achetés grâce au programme. Donc, nous obtenons des bénéfices annuels de 16 626,88\$ pour la réduction des émissions. L'absence de ces bénéfices sur une période de 8 ans à un taux de 8% amènerait donc une diminution de la VAN de 95 548,68\$. L'ampleur de cet impact va varier selon le taux d'actualisation et le scénario d'électrification utilisés. Il est assez important pour faire changer le signe de la VAN seulement dans le cas où 50% du kilométrage des VHR est électrifié et où le taux d'actualisation utilisé est de 6%. Dans ce cas particulier, c'est à cause de la valeur particulièrement faible de la VAN dans le scénario initial que celle-ci devient négative lorsqu'une valeur nulle est accordée aux bénéfices des émissions réduites.

7.2.4 Ventes attribuables au programme

Dans le cadre de cette étude, un élément clé lié à l'estimation correcte des coûts et des bénéfices attribuables au programme a été l'estimation du pourcentage des ventes qui se sont faites grâce à celui-ci. Grâce à notre questionnaire, nous avons pu estimer que 50,08% et 46,6% des ventes respectives de VEE et VHR en 2012 auraient été attribuables au programme de rabais gouvernemental. Nous analysons deux scénarios supplémentaires où nous faisons varier ces valeurs. Dans le premier, les valeurs utilisées représentent la moitié de celles trouvées à l'aide de notre questionnaire. Donc, nous considérerons que 25,04% des VEE et 23,3% des VHR auraient été achetés grâce au programme. Il s'agit du scénario où nous considérons que l'effet du programme est faible. Aussi, nous considérerons un scénario où l'effet du programme est fort. Dans celui-ci, ce seront plutôt 100% des VHR et VEE achetés qui l'auraient été grâce au programme. La VAN du programme selon chacun de ces scénarios est représentée dans le tableau 21.

Tableau 21 : VAN en fonction de la portion des ventes attribuable au programme

Portion des ventes attribuable au programme		VAN
Effet du programme - Faible		(319 507,26) \$
Effet du programme - Réaliste		417 812,34 \$
Effet du programme - Fort		3 334 226,85 \$

En termes de variation dans le signe de la VAN, les résultats de cette analyse de sensibilité sont plutôt intuitifs. Il semble que la VAN diminue lorsqu'une plus petite portion des véhicules est achetée grâce au programme et qu'elle augmente dans le cas contraire. Cela est causé par le fait qu'une plus grande portion des bénéfices nets totaux liés aux VEE et VHR achetés en 2012 sera attribuable au programme si son effet est plus grand. Selon les résultats de notre questionnaire, l'influence du programme sur les probabilités d'achat serait différente pour les VEE et VHR. Donc, il ne nous est pas possible de trouver un point mort

unique de la VAN en considérant les deux indépendamment. Toutefois, dans le cas où nous supposons que l'effet du programme est le même sur les probabilités d'achat d'un VEE et d'un VHR, nous trouvons que le programme a une VAN nulle si 32,91% des ventes de véhicules lui sont attribuables. À la lumière de cette estimation, il nous semble normal d'obtenir une VAN positive dans le scénario de base, puisque les portions des ventes attribuables au programme trouvées sont toutes les deux plus élevées que le seuil de 32,91% calculé.

7.2.5 Points morts du CMF

Finalement, nous effectuons une analyse de sensibilité par rapport à la valeur du coût marginal des fonds (CMF) du Gouvernement du Québec. Plus tôt, nous avons supposé que cette valeur était de 1,1962. Il s'agit d'une hypothèse importante. Nous avons estimé cette valeur à partir des CMF calculés par Dahlby et Ferede (2011) pour l'impôt aux entreprises, l'impôt aux particuliers et les taxes de vente. Ces auteurs ont estimé des CMF respectifs de 1,35, 1,22 et 1,11 pour chacune de ces trois sources de revenus. On voit dans le tableau 22 à partir de quels ratios du CMF la VAN devient négative.

Les cases en vert représentent les scénarios où le CMF, à son point mort, est plus élevé que le CMF de 1,1962 que nous avons utilisé dans le cadre de notre étude. Nous pouvons voir que tous les scénarios où le CMF à son point mort est plus élevé que celui utilisé coïncident avec les scénarios ayant une VAN positive. Cet estimé de 1,1962 provient d'une moyenne des CMF des différentes sources de financement du gouvernement pondérée par leur importance dans la taxation réelle per capita moyenne entre 1972 et 2006 au Québec. Lorsqu'un scénario est plutôt représenté par une case en rouge, on voit que le CMF nécessaire pour que la VAN soit nulle est plus petit que le seuil de 1,1962. Dans ce cas, le programme de rabais ne s'avérerait pas rentable économiquement pour la société québécoise.

Avec les estimés du CMF pour chacune des trois sources de revenus mentionnées plus tôt dans cette section, nous pouvons examiner la rentabilité du programme en tenant compte de sa structure de financement. Ainsi, puisque tous les points morts calculés sont plus faibles que le CMF de 1,35 de l'imposition aux entreprises, le programme ne serait jamais rentable si les fonds provenaient uniquement de cette source de revenus. Il faudrait que celui-ci soit plutôt financé à l'aide de fonds provenant de l'imposition des particuliers ou de taxes de vente. Si la source du financement était plutôt l'imposition des particuliers, le programme serait rentable pour tous les scénarios où au moins 70% du kilométrage des VHR est électrifié. Quant à des fonds provenant de taxes de vente, ceux-ci permettraient au programme d'être rentable dans tous les scénarios d'électrification du kilométrage et de taux d'actualisation différents.

Tableau 22 : Points morts du CMF en fonction du taux d'actualisation et de l'électrification du kilométrage des VHR

Scénario d'électrification	Taux d'actualisation de 6%	Taux d'actualisation de 8%	Taux d'actualisation de 10%
50% des km électrifiés	1,2091	1,1861	1,1658
70% des km électrifiés	1,2938	1,2634	1,2365
100% des km électrifiés	1,3385	1,3046	1,2747

Dans ce tableau, nous constatons que la valeur du CMF à partir de laquelle le programme n'est plus rentable pour la société diminue lorsque le taux d'actualisation augmente. Ceci est attribuable au fait que la valeur actualisée des bénéfices diminue lorsque le taux d'actualisation augmente. Pour cette raison, les coûts nécessaires pour rendre la VAN négative sont moins grands. La valeur du CMF requise pour avoir une VAN nulle diminue ainsi.

Aussi, la valeur du point mort du CMF diminue lorsqu'une plus petite partie du kilométrage des VHR est effectuée en mode électrique. Comme pour le taux d'actualisation, ceci vient du fait que la variation dans les bénéfices sera plus grande que celle dans les coûts lorsque le pourcentage du kilométrage électrifié augmente. Ainsi, il faudra qu'une plus grande partie du coût financier total du programme représente un coût social afin que la VAN devienne négative.

8. Conclusion

À travers ce mémoire, il nous a été donné d'analyser les principaux coûts et bénéfices liés au programme de rabais à l'achat ou à la location d'un véhicule électrique neuf du Gouvernement du Québec. Nous avons commencé par examiner la littérature concernant les méthodes d'évaluation économique et le transfert de valeurs environnementales. Nous avons aussi posé des hypothèses de travail et élaboré une méthodologie nous permettant d'estimer les coûts et bénéfices liés au programme étudié. Pour finir, nous avons actualisé ces derniers et avons vérifié ce qui arrivait lorsque nous faisons varier certaines valeurs attribuées à des hypothèses importantes dans cette analyse.

Cet exercice a été effectué afin de déterminer si l'intervention gouvernementale que représente la mise en place d'un programme de rabais à l'achat de véhicules électriques était rentable pour la société sous un angle strictement économique. Cette question est tout à fait pertinente dans le contexte actuel où de tels rabais sont offerts aux États-Unis et dans plusieurs provinces canadiennes. N'ayant pas d'informations sur la rentabilité de tels programmes au Canada, nous aurions pu nous attendre à ce que la valeur actualisée nette du programme québécois soit positive compte tenu de la forte présence de ce type de programme en Amérique du Nord et du fait qu'il semblerait illogique, à première vue, d'implanter un programme qui aurait un impact économique négatif pour la société qui le finance. À la lumière de notre analyse, il s'avère que le programme de rabais à l'achat d'un véhicule électrique neuf du Gouvernement du Québec a bel et bien une valeur actualisée nette positive dans la majorité des scénarios étudiés. Ainsi, dans notre scénario de base, nous trouvons un gain économique de 417 812,34\$ en 2012 pour la société québécoise. Cette valeur représente 6,72% des montants en rabais accordés en 2012 et 34,23% du coût économique de ces rabais. Donc, il ne s'agit pas d'une valeur actualisée nette négligeable, même lorsque nous regardons l'ampleur du programme de rabais en tant que tel. En modifiant le taux d'actualisation et le pourcentage du kilométrage des VHR électrifié, nous trouvons des valeurs actualisées nettes variant entre une perte de 189 243,76\$ et un gain de 885 252,92\$. Il est à noter que la VAN était négative dans seulement deux scénarios sur les

neuf considérés. Aussi, Il a fallu diminuer l'horizon temporel considéré jusqu'à ce qu'il soit de seulement 6 ans afin d'obtenir une VAN négative de 135 635,98\$. Toutefois, il s'agit d'un horizon temporel assez court qui est probablement loin de refléter la durée de vie potentielle de ces véhicules. Il ne s'agit donc pas d'un scénario très réaliste.

Nous avons aussi décidé de tester un scénario où la société attribuerait une valeur nulle à la diminution d'émissions de polluants et de CO₂ afin de vérifier si les bénéfices tangibles à eux seuls arriveraient à être plus importants que les coûts liés au programme sur un horizon de 8 ans. Nous avons analysé cette situation dans le cadre de différents taux d'actualisation et scénarios d'électrification du kilométrage des VHR. Le programme s'est avéré rentable pour la société québécoise dans tous ces scénarios où au moins 70% du kilométrage des VHR était électrifié avec une VAN variant entre 162 075,07\$ et 759 918,05\$. Quand seulement 50% du kilométrage des VHR était électrifié, le programme engendrait une perte variant entre 8 225,93\$ et 265 297,50\$. Toutefois, nous avons discuté plus tôt dans ce mémoire du fait que ce scénario soit peu probable. Tout ceci nous en dit long sur la rentabilité sociale du programme puisqu'il semble que celui-ci peut quand même être rentable, dans la majorité des scénarios considérés, pour la société même si l'on omet les bénéfices environnementaux qui lui sont liés. Nous avons aussi examiné comment la source de financement du programme pouvait influencer sa VAN. Nous avons constaté qu'il était préférable de le financer à partir de taxes de vente ou même de l'imposition aux particuliers plutôt que par l'imposition aux entreprises.

Malgré les hypothèses que nous avons eu à poser, grâce à l'utilisation de données provenant d'une demande d'accès à l'information, nous sommes confiants quant au fait que les coûts n'ont pas été surestimés dans le cadre de cette étude. Toutefois, nous avons omis certains bénéfices plus difficiles à quantifier liés à l'augmentation des ventes de VHR et VEE. Une plus grande présence de ces véhicules sur les routes entraînerait un développement plus rapide des structures de recharge qui inciterait plus de consommateurs à se tourner vers ces véhicules dans le futur. De plus, cela permettrait aux constructeurs de véhicules et de batteries de bénéficier d'économies d'échelle en vendant plus de leurs

produits respectifs. Un plus grand intérêt pour ces types de véhicules inciterait aussi les compagnies à effectuer plus de recherche et de développement dans le secteur des carburants et technologies alternatives à l'essence. Donc, on retrouve plusieurs avantages supplémentaires liés à la présence d'un programme de rabais à l'achat de VEE et VHR dont nous ne tenons pas compte dans cette étude et qui, s'ils étaient considérés, augmenteraient la VAN du programme examiné.

Notre étude se distingue grandement de ce qui a été fait dans le passé puisqu'il s'agit de la première au Canada à effectuer une analyse de la rentabilité d'un programme de rabais pour les VHR et VEE. Certes, des études ont été effectuées dans le passé dans le but d'analyser la rentabilité de programmes de rabais aux véhicules hybrides traditionnels. On retrouve, entre autres, une étude canadienne de Chandra et al. (2010) analysant les effets de rabais pour les véhicules hybrides tant sur les ventes de ces derniers que sur celles de différents segments de véhicules traditionnels. Il reste que les VHR et VEE sont des véhicules différents de ces hybrides et ils permettent de bénéficier d'économies d'essence encore plus importantes que ces derniers et coûtent présentement plus cher que ceux-ci compte tenu de la taille importante des batteries dont ils sont équipés. De plus, compte tenu de leur arrivée récente, peu d'articles traitent présentement de la question de la rentabilité économique de programmes de rabais aux VHR et VEE. C'est pourquoi il était nécessaire d'effectuer une nouvelle étude permettant d'analyser chaque élément lié à la substitution d'un véhicule traditionnel par un VHR ou un VEE.

Un des éléments importants de ce mémoire qui le distingue de ce qu'on peut trouver dans la littérature est aussi la méthode choisie pour trouver les proportions des demandes de VHR et VEE attribuables au programme de rabais. La méthode utilisée tient compte de probabilités d'achat estimées à l'aide d'un questionnaire d'évaluation contingente où l'on demande aux répondants de révéler des probabilités d'achat de véhicules à des niveaux de coûts et de bénéfices différents des véhicules avec lesquels ils sont familiers plutôt que de leur demander un consentement à payer, ce qui est généralement fait dans le cadre d'un questionnaire d'évaluation contingente. Avec ces probabilités d'achat, nous avons pu

estimer les proportions des demandes attribuables au programme et lui distribuer les portions des bénéfices et coûts qui lui étaient bel et bien liées. L'ensemble de la méthodologie élaborée afin de trouver la valeur actualisée nette du programme et l'information apportée quant à sa rentabilité économique représentent les principaux apports de cette étude.

Il est à noter que le Gouvernement du Québec a récemment annoncé que le programme de rabais à l'achat que nous avons étudié allait, sous un nouveau nom, continuer d'être offert avec un rabais maximal de 8 000\$ jusqu'à 2017 plutôt que d'avoir un montant offert qui diminuerait graduellement jusqu'à la fin de 2015. Il pourrait donc être utile de présenter les résultats de cette étude aux décideurs politiques responsables de ce programme afin qu'ils puissent bénéficier de cette information supplémentaire dans leurs décisions futures en lien avec ce programme. Savoir que celui-ci a, dans notre scénario de base, une valeur actualisée nette de plus de 500\$ par véhicule subventionné en 2012 ne peut que les aider lorsqu'il est temps de justifier leur décision de continuer d'offrir ce rabais jusqu'à la fin de 2016. Cette information pourrait aussi leur être utile afin de soutenir les décisions futures liées à ce programme.

Finalement, certains individus sondés ont soulevé un point intéressant quant à la distribution des rabais à travers la population. Ils ont remarqué que, compte tenu du coût important de ces véhicules à l'achat, ce sont principalement les consommateurs ayant un plus grand revenu qui pourront bénéficier de ces rabais, alors que c'est plutôt l'ensemble de la population qui devra financer le programme. Ces répondants se sentaient préoccupés par ce problème d'équité où il y aurait un certain transfert de la richesse d'individus moins fortunés à d'autres ayant accès à un revenu annuel plus élevé. Ceci est donc un élément intéressant à mentionner qui mériterait d'être examiné par les décideurs politiques qui auront à prendre des décisions par rapport à ce programme ou à d'autres programmes semblables dans le futur.

Bibliographie :

ARROW, K., SOLOW, R., PORTNEY, P.R., LEAMER, E.E., RADNER, R., SCHUMAN, H (1993). «Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation», National Oceanic and Atmospheric Administration Washington, DC. 66p.

BEAL, D.J. (1995). « A Travel Cost Analysis of the Value of Carnarvon Gorge National Park for Recreational Use», Review of Marketing and Agricultural Economics, Australian Agricultural and Resource Economics Society, vol. 63, no 2, Août.

BRENT, R.J. (2009). «Handbook of Research on Cost-Benefit Analysis», Edward Elgar Publishing, 540p.

BOARDMAN, E.A., GREENBERG, D.H., VINING, A.R., WEIMER, D.L. (2006). « Cost-Benefit Analysis Concepts and Practice», 3rd edition, Pearson Prentice Hall.

BOYLE, K.J., KUMINOFF, N.V., PARMETER, C.F., POPE, J.C. (2010). « The Benefit-Transfer Challenges », Annual Review of Resource Economics, vol. 2, no 1, p. 161-182

BROUWER, R. (2000). « Environmental Value Transfer: State of the Art and Future Prospects », Ecological Economics, vol. 32, no 1, p. 137-152.

CARSON, R.T. (1996). « Contingent Valuation and Revealed Preference Methodologies: Comparing the Estimates for Quasi-Public Goods », Land Economics, vol. 72, no 1, p. 80-99.

CARSON, R.T., FLORES, N.E., MEADE, N.F. (2001). « Contingent Valuation: Controversies and Evidence », Environmental and Resource Economics, vol. 19, no 2, p. 173-210.

CARSON, R.T. (2012). « Contingent Valuation: A Practical Alternative When Prices Aren't Available », Journal of Economic Perspectives, vol. 26, no 4, p. 27-42.

CHANDRA, A., GULATI, S., KANDLIKAR, M. (2010). « Green drivers or free riders? An analysis of tax rebates for hybrid vehicles », Journal of Environmental Economics and Management, vol. 60, no 2, p. 78-93.

Circuit Électrique (2014).
Récupéré le 27 janvier 2014 de
<http://lecircuitelectrique.com/index.fr.html>

Congressional Budget Office (2012). « Effects of Federal Tax Credits for the Purchase of Electric Vehicles», Congress of the United States, 41p.
Récupéré le 27 janvier 2014 de
http://www.cbo.gov/sites/default/files/cbofiles/attachments/09-20-12-ElectricVehicles_0.pdf

CURTIN, R., SHRAGO, Y., MIKKELSEN, J. (2009). «Plug-in Hybrid Electric Vehicles», University of Michigan, 103p.

DAHLBY, B., FEREDÉ, E. (2011). «What Does it Cost Society to Raise a Dollar of Tax Revenue? The Marginal Cost of Public Funds». C.D. Howe Institute.

Développement durable, Environnement, Faune et Parcs (2013). «Règlement concernant le système de plafonnement et d'échange des droits d'émission de gaz à effet de serre (SPEDE)», Gouvernement du Québec, ISBN : 978-2-550-67551-8, 22p.

DIAMOND, P. A, HAUSMAN, J.A. (1994). « Contingent Valuation: Is Some Number Better than No Number? », Journal of Economic Perspectives, vol. 8, no 4, p. 45-64.

DINGER, A., MARTIN, R., MOSQUET, X., RABI, M., RIZOULIS, D., RUSSO, M., STICHER, G. (2010). «Batteries for Electric Cars: Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020», Boston Consulting Group publications, 14p.

Electric Drive Transportation Association (2013). « Electric Drive Vehicle Sales Figures (U.S. market) »

Récupéré le 9 octobre 2013 de

<http://electricdrive.org/index.php?ht=d/sp/i/20952/pid/20952>

FUQUA, W.R. (2012). «Cost-Benefit Analysis of the Federal Tax Credit for Purchasing an Electric Vehicle», mémoire de maîtrise, Rochester, Rochester Institute of Technology, 75p.

GALLAGHER, K.S., MUEHLEGGGER, E. (2008). «Giving Green to Get Green : Incentives and Consumer Adoption of Hybrid Vehicle Technology», KSG Working Paper No. RWP08-009

Gouvernement du Québec (2011). «Plan d'action 2011-2020 sur les véhicules électriques», rapport du gouvernement ISBN 978-2-550-61340-4, 44p.

Récupéré le 31 mars 2013 de

<http://vehiculeselectriques.gouv.qc.ca/pdf/plan-action.pdf>

HAUSMAN, J. (2012). «Contingent Valuation: From Dubious to Hopeless», Journal of Economic Perspectives, vol. 26, no 4, p. 43-56.

Hydro-Québec (2009). « Plan stratégique 2009-2013 », plan sur le développement durable, 86p.

Récupéré le 31 mars 2013 de

http://www.hydroquebec.com/publications/fr/plan_strategique/pdf/plan-strategique-2009-2013.pdf

Hydro-Québec (2012). « Présentation des résultats financiers 2012 », 20p.,

Récupéré le 3 janvier 2014 de

http://www.hydroquebec.com/publications/fr/rapport_annuel/pdf/presentation-2012.pdf

Hydro-Québec (2013). «Durée de recharge d'un véhicule», Hydro-Québec,

Récupéré le 31 mars 2013 de

<http://www.hydroquebec.com/electrification-transport/duree-recharge.html>

JENKINS, G.P., KUO, C.-Y., (2007). «The Economic Opportunity Cost of Capital for Canada - An Empirical Update», No 2007-04, Development Discussion Papers, JDI Executive Programs, <http://EconPapers.repec.org/RePEc:qed:dpaper:1>.

JOHNSTON, Robert J., Randall S. ROSENBERGER (2010). « Methods, Trends and Controversies in Contemporary Benefit Transfer », Journal of Economic Surveys, vol. 24, no 3, p. 479-510.

JUTEAU, S. (2013). «Ventes de VÉ au Québec : Cumulatif par véhicule au 31 décembre 2012!», Roulez Électrique,

Récupéré le 3 janvier 2014 de

<http://roulezelectrique.com/ventes-de-ve-au-quebec-cumulatif-par-vehicule-au-31-decembre-2012/>

KAMPA, M., CASTANAS, E. (2008). «Human Health Effects of Air Pollution», Environmental Pollution, vol.151, p.362-367

LANOIE, P. et ROCHON-FABIEN, A. (2012). « Promoting Pollution Prevention in Small Businesses: Costs and Benefits of the 'Enviroclub' Initiative », Canadian Public Policy, vol. 38, no 2, p. 217-232.

Mobilité Électrique Canada (2011). « Hybrid and Electric Vehicles incentives : A Canadian Overview »

Récupéré le 19 septembre 2013 de

http://www.emc-mec.ca/frn/pdf/Canadian_Funding_Program_for_EVs_2010_06_19_-_Updated_JB_-_June_2011.pdf

MULLER, N.Z., MENDELSON, R. (2007). « Measuring the Damages of Air Pollution in the United States », Journal of Environmental Economics and Management, vol. 54, no 1, p. 1-14.

MULLER, N.Z., MENDELSON, R. (2009). « Efficient Pollution Regulation: Getting the Prices Right », American Economic Review, vol. 99, no 5, p. 1714-1739.

MULLER, N.Z., MENDELSON, R., NORDHAUS, W. (2011). «Environmental Accounting for Pollution in the United States Economy », American Economic Review, vol. 101, no 5, p. 1649-1675.

PEARCE, D., ATKINSON, G., MOURATO, S. (2006). «Cost-Benefit Analysis and the Environment: Recent Developments», OECD Publishing, 315p.

PELLAND, M.-G. (2004). «Les courses au Circuit Mont-Tremblant : une analyse coûts-bénéfices», mémoire de maîtrise, Montréal, HEC Montréal, 126p.

PORTNEY, P.R. (1994). « The Contingent Valuation Debate: Why Economists Should Care », Journal of Economic Perspectives, vol. 8, no 4, p. 3-17.

POSCHL, U. (2005). «Atmospheric Aerosols: Composition, Transformation, Climate and Health Effects», Angewandte Chemie International Edition, vol. 44, no. 46, p. 7520-7540

Québec roule à la puissance verte (2011). «Recharge dans les lieux publics», Gouvernement du Québec, Récupéré le 31 mars 2013 de

<http://vehiculeselectriques.gouv.qc.ca/particuliers/recharge-publics.asp>

Québec roule à la puissance verte (2011). «Véhicules admissibles et montants des rabais», Gouvernement du Québec, Récupéré le 31 mars 2013 de

<http://vehiculeselectriques.gouv.qc.ca/particuliers/rabais-montants.asp>

Ressources naturelles Canada (2012). «Guide de consommation de carburant 2012», 40p.

Récupéré le 12 juin 2013 de

<http://oeenrcan.gc.ca/transports/outils/cotes carburant/guide-consommation-carburant-2012.pdf>

Ressources naturelles et faune du Québec (2011). «Programme de rabais à l'achat ou à la location d'un véhicule électrique neuf - Cadre normatif», Gouvernement du Québec, 6p.

Récupéré le 31 mars 2013 de

<http://vehiculeselectriques.gouv.qc.ca/pdf/cadre-normatif.pdf>

- Ressources naturelles et faune du Québec (2014). «Roulez électrique- Cadre normatif», Gouvernement du Québec, 10p.
Récupéré le 27 janvier 2014 de
http://vehiculeselectriques.gouv.qc.ca/pdf/Cadre_normatif_Roulez_electrique.pdf
- ROY, S. (2009). «L'enfouissement des réseaux câblés de distribution au centre-ville d'Hudson : une analyse coûts-bénéfices», mémoire de maîtrise, Montréal, HEC Montréal, 152p.
- Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada (2007). «Guide d'analyse coûts-avantages pour le Canada : Propositions de réglementation», Ottawa, 52p.
- SPASH, C.L., VATN, A. (2006). « Transferring Environmental Value Estimates: Issues and Alternatives », Ecological Economics, vol. 60, no 2, p. 379-388.
- Statistique Canada (2010). «Enquête sur les véhicules au Canada : annuelle 2009», 47p.
Récupéré le 8 juin 2013 de
<http://www.statcan.gc.ca/pub/53-223-x/53-223-x2009000-fra.pdf>
- Statistique Canada (2012). «Profil du recensement. Recensement de 2011», Produit no 98-316-XWF au catalogue de Statistique Canada. Ottawa. Diffusé le 27 juin 2012.
Récupéré le 3 janvier 2014 de
<http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2011/dp-pd/prof/index.cfm?Lang=F>
- Statistique Canada (2013). «Tableau D.6.3, Niveau de scolarité de la population âgée de 25 à 64 ans, population autochtone hors réserve, population non-autochtone, et population totale, Canada, provinces et territoires, 2009, 2010, 2011 et 2012)»
Récupéré le 29 janvier 2014 de
<http://www.statcan.gc.ca/pub/81-582-x/2013001/tbl/tbld6.3-fra.htm>
- TEMPLIER, S. (2013). «Véhicules hybrides et électriques : des prévisions optimistes», La Presse,
Récupéré le 20 septembre 2013 de
http://auto.lapresse.ca/auto-ecolo/201309/20/01-4691375-vehicules-hybrides-et-electriques-des-previsions-optimistes.php?utm_categorieinterne=trafficedrivers&utm_contenuinterne=envoyer_lpa
- The Kent Group. «Petroleum Price Data»,
Récupéré le 3 janvier 2014 de
<http://www.kentmarketingservices.com/dnn/PetroleumPriceData.aspx>
- TOL, R.S.J. (2011). «The Social Cost of Carbon», Annual Review of Resource Economics, Vol. 3, Issue 1, p. 419-443
- Transports Canada (2011). «Guide de l'utilisateur : Calculateur d'émissions liées au transport urbain (CELTU)- V.3.0», 41p.
Récupéré le 8 juin 2013 de
<http://wwwapps.tc.gc.ca/Prog/2/UTEC-CETU/PDF/UTEC-CETU-F.pdf>
- Transports Canada (2012). «Facteurs d'émission à GES (g/L)», Calculateur d'émissions liées au transport urbain
Récupéré le 27 janvier 2014 de
<http://wwwapps.tc.gc.ca/Prog/2/UTEC-CETU/GhgEmissionFactors.aspx?lang=fre>

TURNER, R. K. (1979). « Cost-Benefit Analysis--A Critique », Omega-international Journal of Management Science, vol. 7, no 5, p. 411-419.

U .S. Department of Energy. «Federal Tax Credits for Plug-in Hybrids»

Récupéré le 19 septembre 2013 de

<http://www.fueleconomy.gov/feg/taxphev.html>

Véhicules Électriques (2013), «Bilan 2012», Twitter du programme Roulez Électrique du Gouvernement du Québec

Récupéré le 27 janvier 2014 de

https://twitter.com/VE_Quebec/status/296360107133005826

Wal-Mart, «Centre de l'auto»

Récupéré le 28 novembre 2013 de

<http://see.walmart.ca/Auto-Centre/fr/pneus-et-lubrification-express/vidange-dhuile/>

Annexe 1

Définition des variables et statistiques descriptives

Variables	Définition	Moyenne (écart-type)
<i>Variables de relation avec les véhicules</i>		
VÉHICULES	Représente le nombre de véhicules que l'individu possède	1,11 (0,8027)
KM/AN	= 32 500 si le kilométrage annuel de l'individu est de plus de 30 000 km = 27 500 si le kilométrage annuel de l'individu se situe entre 25 000 km et 30 000 km = 22 500 si le kilométrage annuel de l'individu se situe entre 20 000 km et 25 000 km = 17 500 si le kilométrage annuel de l'individu se situe entre 15 000 km et 20 000 km = 12 500 si le kilométrage annuel de l'individu se situe entre 10 000 km et 15 000 km = 7 500 si le kilométrage annuel de l'individu se situe entre 5 000 km et 10 000 km = 2 500 si le kilométrage annuel de l'individu se situe entre 0 et 5 000 km	14 329,27 (7 798,08)
KM/JOUR	= 82,5 si le kilométrage quotidien du répondant est de plus de 75 km = 67,5 si le kilométrage quotidien du répondant se situe entre 60 km et 75 km = 52,5 si le kilométrage quotidien du répondant se situe entre 45 km et 60 km = 37,5 si le kilométrage quotidien du répondant se situe entre 30 km et 45 km = 22,5 si le kilométrage quotidien du répondant se situe entre 15 km et 30 km = 7,5 si le kilométrage quotidien du répondant se situe entre 0 et 15 km	28,90 (21,61)
POURCENTAGE D'AUTOROUTE	= 90% si le kilométrage effectué sur l'autoroute par le répondant représente plus de 80% de son kilométrage = 70% si le kilométrage effectué sur l'autoroute par le répondant représente entre 60% et 80% de son kilométrage = 50% si le kilométrage effectué sur l'autoroute par le répondant représente entre 40% et 60% de son kilométrage = 30% si le kilométrage effectué sur l'autoroute par le répondant représente entre 20% et 40% de son kilométrage = 10% si le kilométrage effectué sur l'autoroute par le répondant représente moins de 20% de son kilométrage	0,3265 (0,2590)
ESSENCE PAR MOIS	Représente le nombre de fois par mois où l'individu se rend à la station service pour y mettre de l'essence dans son véhicule	3,8354 (2,2799)

COVOITURAGE	= 1 si le répondant ne fait jamais de covoiturage pour aller travailler = 2 si le répondant fait parfois du covoiturage pour aller travailler = 3 si le répondant fait régulièrement du covoiturage pour aller travailler = 4 si le répondant fait toujours du covoiturage pour aller travailler	1,73 (0,8271)
TRANSPORT EN COMMUN	= 1 si le répondant n'utilise jamais les transports en commun = 2 si le répondant utilise parfois les transports en commun = 3 si le répondant utilise régulièrement les transports en commun = 4 si le répondant utilise toujours les transports en commun	2,16 (1,0892)
PLUS PETIT VÉHICULE	= 1 si le plus petit véhicule du répondant est un véhicule à deux places = 2 si le plus petit véhicule du répondant est une sous-compacte = 3 si le plus petit véhicule du répondant est une compacte = 4 si le plus petit véhicule du répondant est une intermédiaire = 5 si le plus petit véhicule du répondant est une grande berline = 6 si le plus petit véhicule du répondant est une familiale = 7 si le plus petit véhicule du répondant est une fourgonnette = 8 si le plus petit véhicule du répondant est un VUS ou un VUM = 9 si le plus petit véhicule du répondant est une camionnette	3,7160 (1,9251)
CHANGEMENT VÉHICULE DÛ	= 1 si l'âge du véhicule le plus récent du répondant est supérieur à l'âge auquel il change ses véhicules habituellement = 0 sinon	0,41 (0,4943)
<i>Variables d'attitude environnementale</i>		
HEURES DEHORS	Représente le nombre d'heures que le répondant passe dehors par semaine (en moyenne)	18,365 (15,8412)
RECYCLAGE	= 1 si le répondant ne fait jamais de recyclage = 2 si le répondant fait parfois du recyclage = 3 si le répondant fait souvent du recyclage = 4 si le répondant fait toujours du recyclage	3,72 (0,6828)
COMPOST	= 0 si le répondant ne fait pas de compost = 1 si le répondant fait du compost	0,14 (0,3487)
DONS	= 1 si le répondant n'effectue jamais de dons à des organismes environnementaux = 2 si le répondant effectue rarement des dons à des organismes environnementaux = 3 si le répondant effectue parfois des dons à des organismes environnementaux = 4 si le répondant effectue souvent des dons à des organismes environnementaux	1,56 (0,8204)
GROUPE ENVIRONNEMENTAL	= 1 si le répondant fait partie d'un groupe environnemental = 0 sinon	0,02 (0,1407)

AFFECTÉ	<p>L'affirmation est la suivante : Vous vous sentez affecté physiquement par la pollution causée par les véhicules automobiles.</p> <p>= 1 si le répondant est tout à fait en désaccord = 2 si le répondant est en désaccord = 3 si le répondant est neutre = 4 si le répondant est d'accord = 5 si le répondant est tout à fait en accord</p>	<p>2,33 (1,3930)</p>
PRÉOCCUPÉ	<p>L'affirmation est la suivante : Vous vous sentez préoccupé par la pollution causée par les véhicules automobiles.</p> <p>= 1 si le répondant est tout à fait en désaccord = 2 si le répondant est en désaccord = 3 si le répondant est neutre = 4 si le répondant est d'accord = 5 si le répondant est tout à fait en accord</p>	<p>3,91 (1,3111)</p>
<i>Variables indiquant l'accès à une prise</i>		
ACCÈS MAISON	<p>= 1 si le répondant aurait facilement accès à une prise de courant à partir de laquelle il pourrait recharger un véhicule électrique à son domicile = 0 sinon</p>	<p>0,54 (0,5009)</p>
ACCÈS TRAVAIL	<p>= 1 si le répondant aurait facilement accès à une prise de courant à partir de laquelle il pourrait recharger un véhicule électrique à son lieu de stationnement au travail = 0 sinon</p>	<p>0,2 (0,4020)</p>
<i>Variables sociodémographiques</i>		
FEMME	<p>= 1 si le répondant est une femme = 0 sinon</p>	<p>0,48 (0,5021)</p>
FRANÇAIS	<p>= 1 si la langue maternelle du répondant est le français = 0 sinon</p>	<p>0,85 (0,3589)</p>
ANGLAIS	<p>= 1 si la langue maternelle du répondant est l'anglais = 0 sinon</p>	<p>0,05 (0,2190)</p>
LANGAGE	<p>= 1 si la langue maternelle du répondant n'est ni le français, ni l'anglais = 0 sinon.</p>	<p>0,1 (0,3015)</p>
ÂGE	<p>= 21 si l'âge du répondant se situe entre 18 et 24 ans = 27 si l'âge du répondant se situe entre 25 et 29 ans = 32 si l'âge du répondant se situe entre 30 et 34 ans = 37 si l'âge du répondant se situe entre 35 et 39 ans = 42 si l'âge du répondant se situe entre 40 et 44 ans = 47 si l'âge du répondant se situe entre 45 et 49 ans = 52 si l'âge du répondant se situe entre 50 et 54 ans = 57 si l'âge du répondant se situe entre 55 et 59 ans = 62 si l'âge du répondant se situe entre 60 et 64 ans = 67 si l'âge du répondant est de plus de 65 ans À noter : nous indiquons l'âge exact dans les données si l'individu le fournit plutôt que d'indiquer la tranche dans laquelle il se situe</p>	<p>41,35 (16,5934)</p>
SCOLARITÉ	<p>Indique le dernier niveau de scolarité complété :</p> <p>= 0 s'il s'agit du primaire = 1 s'il s'agit du secondaire = 2 s'il s'agit du collégial = 3 s'il s'agit d'un niveau universitaire de 1^{er} cycle = 4 s'il s'agit d'un niveau universitaire de 2^{ème} ou de</p>	<p>2 (1,0825)</p>

	3 ^{ème} cycle	
EN COUPLE	= 1 si le répondant est en couple = 0 sinon	0,5758 (0,4967)
ENFANTS	Représente le nombre d'enfants du répondant	0,9596 (1,5838)
REVENU	= 15 000 si le revenu familial annuel de l'individu se situe entre 0 et 30 000\$ = 37 500 si le revenu familial annuel de l'individu se situe entre 30 000 et 45 000\$ = 52 500 si le revenu familial annuel de l'individu se situe entre 45 000 et 60 000\$ = 67 500 si le revenu familial annuel de l'individu se situe entre 60 000 et 75 000\$ = 82 500 si le revenu familial annuel de l'individu se situe entre 75 000 et 90 000\$ = 97 500 si le revenu familial annuel de l'individu se situe entre 90 000 et 105 000\$ = 112 500 si le revenu familial annuel de l'individu se situe entre 105 000 et 120 000\$ = 127 500 si le revenu familial annuel de l'individu se situe entre 120 000 et 135 000\$ = 142 500 si le revenu familial annuel de l'individu se situe entre 135 000 et 150 000\$ = 157 500 si le revenu familial annuel de l'individu se situe entre 150 000 et 165 000\$ = 172 500 si le revenu familial annuel de l'individu se situe entre 165 000 et 180 000\$ = 187 500 si le revenu familial annuel de l'individu se situe entre 180 000 et 195 000\$ = 202 500 si le revenu familial annuel de l'individu se situe entre 195 000 et 210 000\$ = 217 500 si le revenu familial annuel de l'individu se situe entre 210 000 et 225 000\$ = 232 500 si le revenu familial annuel de l'individu se situe entre 225 000 et 240 000\$ = 247 500 si le revenu familial de l'individu est de plus de 240 000\$	68 696,81 (54 642,94)
FUMEUR	= 1 si le répondant est un fumeur = 0 sinon	0,21 (0,4094)
MONTREAL	= 1 si le répondant demeure à Montréal = 0 sinon	0,56 (0,4989)
BANLIEUE	= 1 si le répondant demeure en dehors de Montréal = 0 sinon	0,44 (0,4989)

Annexe 2

Questionnaire :

Introduction :

Bonjour, mon nom est Xavier Mercier et je suis étudiant à la maîtrise avec spécialisation en économie appliquée à HEC Montréal. J'effectue présentement un mémoire par rapport à un programme gouvernemental lié à l'achat d'automobiles ayant un moins grand impact environnemental. Cette recherche n'est, toutefois, ni affiliée au gouvernement du Québec, ni à l'industrie automobile ou à un quelconque manufacturier. Seuls les résultats globaux de cette recherche seront publiés. Ainsi, il sera impossible de vous associer à cette recherche et vos réponses resteront strictement confidentielles.

Caractéristiques du sujet vis-à-vis l'utilisation de l'automobile:

- Tout d'abord, je dois me renseigner sur votre relation avec l'automobile et l'usage que vous en faites.

1.

Possédez-vous un ou plusieurs véhicules automobiles?

Oui : ____ Non : ____

Si oui, combien? ____

2.

Quel type de véhicule utilisez-vous le plus fréquemment?

Deux places : ____ Sous-compacte : ____ Compacte : ____ Intermédiaire : ____

Grande berline : ____ Familiale : ____ Camionnette : ____ Fourgonnette : ____

VUS et VUM : ____ Autre : ____

3.

Quel kilométrage effectuez-vous annuellement?

0 à 5 000 km	
5 000 à 10 000 km	
10 000 à 15 000 km	
15 000 à 20 000 km	
20 000 à 25 000 km	
25 000 à 30 000 km	
30 000 km et plus	

4.

Combien de kilomètres, environ, effectuez-vous à chaque jour ?

0 à 15 : ____ 15 à 30 : ____ 30 à 45 : ____ 45 à 60 : ____ 60 à 75 : ____ 75 km et + :

5.

Quel pourcentage, approximativement, de ce kilométrage se fait-il sur l'autoroute?

Moins de 20% : ____ 20% à 40% : ____ 40% à 60% : ____ 60% à 80% : ____ Plus de
80% : ____

6.

Environ combien de fois par mois allez-vous à la station-service pour mettre de l'essence?

Caractéristiques du sujet vis-à-vis l'environnement :

- Les prochaines questions portent sur l'environnement et vos habitudes pouvant y être lié.

7.

Vous vous sentez affecté, physiquement, par la pollution causée par les véhicules automobiles.

Tout à fait en désaccord : ____ En désaccord : ____ Neutre : ____

En accord : ____ Tout à fait en accord : ____

8.

Vous vous sentez préoccupé par la pollution causée par les véhicules automobiles.

Tout à fait en désaccord : ____ En désaccord : ____ Neutre : ____

En accord : ____ Tout à fait en accord : ____

9.

Vous arrive-t-il de covoiturer pour aller travailler?

Jamais : ____ Parfois : ____ Régulièrement : ____ Toujours : ____

10.

Vous arrive-t-il d'utiliser les transports en commun?

Jamais : ____ Parfois : ____ Régulièrement : ____ Toujours : ____

11.

Combien d'heures par semaine, en moyenne, passez-vous dehors pour des activités diverses (sports, marche, piscine, entretien paysager, etc.) ? _____

12.

Est-ce que vous faites du recyclage?

Jamais : ____ Parfois : ____ Régulièrement : ____ Toujours : ____

13.

Est-ce que vous faites du compost?

Oui : ____ Non : ____

14.

Vous arrive-t-il d'effectuer des dons à des organismes environnementaux (ex : Greenpeace, Nature-Québec, Équiterre) ?

Jamais : ____ Rarement : ____ Occasionnellement : ____ Souvent: ____

15.

Faites-vous partie d'un groupe environnemental (ex : Greenpeace) ?

Oui : ____ Non : ____

Questions d'évaluation et de vérification :

En plus des véhicules hybrides traditionnels, les manufacturiers automobiles offrent deux types de véhicules ayant un moins grand impact sur l'environnement :

- Il y a les véhicules entièrement électriques. Ces véhicules sont munis de batteries qui permettent aux véhicules de rouler de manière entièrement électrique sur une certaine distance avant de devoir être rechargés. La distance que le véhicule peut parcourir avant d'être rechargé va dépendre de la taille de sa batterie

- Il y a aussi des véhicules hybrides rechargeables. Ils sont aussi munis de batteries, moins puissantes, que l'on peut recharger et peuvent rouler de manière électrique pendant une moins grande distance que les véhicules entièrement électriques. Lorsque les batteries sont à plat, le moteur à essence entre en action et le véhicule roule comme un véhicule hybride traditionnel.

16.

Sur une échelle de 0 à 100, où zéro voudrait dire que vous n'achèteriez certainement pas le véhicule et 100 voudrait dire que vous achèteriez certainement le véhicule, à combien estimeriez-vous vos chances d'acheter un véhicule hybride rechargeable dans le futur?

17.

Sur une échelle de 0 à 100, où zéro voudrait dire que vous n'achèteriez certainement pas le véhicule et 100 voudrait dire que vous achèteriez certainement le véhicule, à combien estimeriez-vous vos chances d'acheter un véhicule entièrement électrique dans le futur?

- Ces véhicules coûtent, toutefois, plus cher à produire que des véhicules à essence avec des caractéristiques équivalentes. Le prix payé à l'achat sera, donc, plus élevé que pour un véhicule à essence semblable. Par contre, les véhicules entièrement électriques et hybrides rechargeables consomment moins d'essence et coûtent moins cher à faire fonctionner.

Véhicules hybrides rechargeables :

18.

Si un véhicule hybride rechargeable permettait de réduire la consommation d'essence d'environ 75%, de réduire les émissions polluantes liées au véhicule et qu'il coûtait 12 000\$ de plus qu'un véhicule semblable à essence, en utilisant l'échelle décrite précédemment, à combien estimeriez-vous vos chances d'acheter un tel véhicule?

19.

Si un véhicule hybride rechargeable permettait de réduire la consommation d'essence d'environ 75%, de réduire les émissions polluantes liées au véhicule et qu'il coûtait 9 000\$ de plus qu'un véhicule semblable à essence, en utilisant l'échelle décrite précédemment, à combien estimeriez-vous vos chances d'acheter un tel véhicule?

20.

Si un véhicule hybride rechargeable permettait de réduire la consommation d'essence d'environ 75%, de réduire les émissions polluantes liées au véhicule et qu'il coûtait 4 000\$ de plus qu'un véhicule semblable à essence, en utilisant l'échelle décrite précédemment, à combien estimeriez-vous vos chances d'acheter un tel véhicule?

Véhicules entièrement électriques :

21.

Si un véhicule entièrement électrique permettait de réduire les coûts en énergie d'environ 85%, tout en réduisant les émissions liées au véhicule à zéro, et qu'il coûtait 16 000\$ de plus qu'un véhicule semblable à essence, en utilisant l'échelle décrite précédemment, à combien estimeriez-vous vos chances d'acheter un tel véhicule?

22.

Si un véhicule entièrement électrique permettait de réduire les coûts en énergie d'environ 85%, tout en réduisant les émissions liées au véhicule à zéro, et qu'il coûtait 13 000\$ de plus qu'un véhicule semblable à essence, en utilisant l'échelle décrite précédemment, à combien estimeriez-vous vos chances d'acheter un tel véhicule?

23.

Si un véhicule entièrement électrique permettait de réduire les coûts en énergie d'environ 85%, tout en réduisant les émissions liées au véhicule à zéro, et qu'il coûtait 8 000\$ de plus qu'un véhicule semblable à essence, en utilisant l'échelle décrite précédemment, à combien estimeriez-vous vos chances d'acheter un tel véhicule?

- Un programme de rabais à l'achat ou à la location d'un véhicule électrique neuf existe actuellement. Il permet de faire bénéficier aux acheteurs de véhicules entièrement électriques ou hybrides rechargeables de bénéficier de rabais allant jusqu'à 8 000\$ à l'achat ou à la location de ces véhicules qui sont plus propres pour l'environnement. À partir du 1^{er} janvier 2016, ce programme n'existera plus.

24.

En tenant compte que vous ne pourriez plus utiliser cet argent pour autre chose, incluant d'autres programmes environnementaux, combien seriez-vous prêt à payer de plus en impôts par année afin que ce programme particulier puisse continuer d'exister pour une année supplémentaire?

25.

Si le montant accordé par le programme était plutôt de 3 000\$, avec les mêmes contraintes que dans la question précédente, combien seriez-vous prêt à payer de plus en impôts par année afin que ce programme particulier puisse continuer d'exister pour une année supplémentaire?

26.

Quel est l'âge de votre véhicule actuel (ou de vos véhicules)?

27.

En général, après combien de temps changez-vous vos véhicules?

0 à 3 ans : ____ 3 à 6 ans : ____ 6 à 9 ans : ____ 9 à 12 ans : ____ Plus de 12 ans : ____

28.

Quel serait, pour vous, le facteur le plus important dans la décision d'achat d'un véhicule électrique ou hybride rechargeable? (ex : autonomie, présence d'un réseau de recharge, prix de l'essence, émissions de gaz à effet de serre,...)

Caractéristiques sociodémographiques du sujet:

Quel est votre sexe?

F : ____ M : ____

Quelle est votre langue maternelle?

Français : ____ Anglais : ____ Autre : ____ Spécifier : _____

Dans quelle tranche d'âge vous situez-vous?

Âge	
18-24	
25-29	
30-34	
35-39	
40-44	
45-49	
50-54	
55-59	
60-64	
65 et plus	

Quel est votre lieu de résidence?

Rive-Nord : ____ Rive-Sud : ____ Montréal : ____ Laval : ____

Autre (spécifier) : _____

Êtes-vous locataire ou propriétaire de votre résidence?

Locataire : ____ Propriétaire : ____

Auriez-vous facilement accès à une prise de courant à partir de laquelle vous pourriez recharger un véhicule électrique à votre domicile?

Oui : ____ Non : ____

Auriez-vous facilement accès à une prise de courant à partir de laquelle vous pourriez recharger un véhicule électrique à votre lieu de stationnement au travail?

Oui : ____ Non : ____

Dernier niveau de scolarité complété?

Primaire : ____

Secondaire : ____

Collégial : ____

Universitaire de 1^{er} cycle : ____

Universitaire de 2^{ème} cycle : ____

Universitaire de 3^{ème} cycle : ____

Quelle est votre situation familiale?

En couple (cocher si oui) : ____

Enfants (spécifier le nombre, si oui) : ____

Revenu familial (pour des fins de classement seulement) ?

30 000\$ et moins		75 000\$ à 90 000\$		135 000\$ à 150 000\$		195 000\$ à 210 000\$	
30 000\$ à 45 000\$		90 000\$ à 105 000\$		150 000\$ à 165 000\$		210 000\$ à 225 000\$	
45 000\$ à 60 000\$		105 000\$ à 120 000\$		165 000\$ à 180 000\$		225 000\$ à 240 000\$	
60 000\$ à 75 000\$		120 000\$ à 135 000\$		180 000\$ à 195 000\$		240 000\$ et plus	

Je ne souhaite pas indiquer la fourchette dans laquelle se trouve mon revenu familial : ____

Est-ce que vous fumez?

Oui : ____ Non : ____

Annexe 3

Fiche descriptive des VEE et VHR disponibles sur le marché

Véhicules entièrement électriques



Caractéristiques générales :

- Autonomie de 120 à 160 km
- Temps de recharge de 4 à 7h avec un chargeur rapide (240V)
- Temps de recharge de 18 à 22h avec prise conventionnelle (120V)

Équipement courant :

- Climatiseur
- Intérieur tout électrique
- Bluetooth
- Navigation
- Sièges chauffants

Taille :

- Semblable à une compacte (e.g. Honda Civic, Mazda 3, Toyota Corolla) pour les Nissan Leaf et Ford Focus électrique
- Semblable à une sous-compacte (e.g. Toyota Yaris, Hyundai Accent) pour la Mitsubishi i-MiEV

Véhicules hybrides rechargeables



Caractéristiques générales :

- Autonomie de 20 à 80 km sur le mode électrique. Ensuite, il y a utilisation d'essence avec faible consommation
- Temps de recharge de 1h30 à 4h avec prise de 240V
- Temps de recharge de 3 à 12h avec prise conventionnelle (120V)

Équipement courant :

- Climatiseur
- Intérieur tout électrique
- Bluetooth
- Démarrage à bouton-poussoir
- Sièges chauffants

Taille :

- Varie de modèle en modèle
- Peut être semblable à une compacte, intermédiaire ou même à une petite fourgonnette

Annexe 4

Fiche aidant à identifier les différents segments de véhicules

- Deux places :



Subaru BRZ illustrée

- Grande berline :



BMW série 5 illustrée

- Sous-compacte :



Toyota Yaris illustrée

- Familiale :



Volkswagen Golf familiale illustrée

- Compacte :



Honda Civic illustrée

- Camionnette :



Ford F-150 illustré

- Intermédiaire :



Toyota Camry illustrée

- Fourgonnette :



Dodge Grand Caravan illustrée

- VUS et VUM :



Hyundai Santa Fe illustré

Annexe 5

Directives accompagnant un questionnaire anonyme

Programme de rabais à l'achat ou à la location d'un véhicule électrique neuf : une analyse coûts-bénéfices

Vous trouverez dans les prochaines pages un questionnaire anonyme auquel nous vous invitons à répondre. Ce questionnaire a été développé dans le cadre d'un projet de mémoire à HEC Montréal.

Répondez sans hésitation aux questions incluses dans ce questionnaire, car ce sont vos premières impressions qui reflètent généralement le mieux votre pensée. Il n'y a pas de limite de temps pour répondre au questionnaire, bien que nous ayons estimé que cela devrait vous prendre environ cinq à dix minutes.

Les renseignements recueillis sont anonymes et resteront strictement confidentiels; ils ne seront utilisés que pour l'avancement des connaissances et la diffusion des résultats globaux dans des forums savants ou professionnels.

Vous êtes complètement libre de refuser de participer à ce projet et vous pouvez décider en tout temps d'arrêter de répondre aux questions. Le fait de remplir ce questionnaire sera considéré comme votre consentement à participer à notre recherche et à l'utilisation des données recueillies dans ce questionnaire pour d'éventuelles recherches.

Si vous avez des questions concernant cette recherche, vous pouvez contacter le chercheur principal, Xavier Mercier, au numéro de téléphone ou à l'adresse de courriel indiqués ci-dessous.

Le comité d'éthique de la recherche de HEC Montréal a statué que la collecte de données liée à la présente étude satisfait aux normes éthiques en recherche auprès des êtres humains. Pour toute question en matière d'éthique, vous pouvez communiquer avec le secrétariat de ce comité au (514) 340-7182 ou par courriel à cer@hec.ca.

Merci de votre précieuse collaboration!

Xavier Mercier
Étudiant à la M.Sc.
HEC Montréal
450-588-6660
xavier.mercier@hec.ca

Sous la supervision de
Paul Lanoie
Directeur des affaires professorales
HEC Montréal
514-340-6443
paul.lanoie@hec.ca
et
Justin Leroux
Professeur agrégé
HEC Montréal
514-340-6864
Justin.leroux@hec.ca