

équiterre

**ACCÉLÉRER L'ÉLECTRIFICATION
DES TRANSPORTS AU CANADA**
L'impact d'une norme
véhicules zéro émission



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉPARÉ POUR ÉQUITERRE PAR NAVIUS RESEARCH ET START

D^r Jonn Axsen

Directeur, START

Université Simon Fraser

jaxsen@sfu.ca

Suzanne Goldberg

Directrice de la recherche et de la sensibilisation, START

Professeure auxiliaire

Université Simon Fraser

sgoldber@sfu.ca

Michael Wolinetz

Associé, Navius Research

Professeur auxiliaire, START

Michael@naviusresearch.com

TABLE DES MATIÈRES

À PROPOS D'ÉQUITERRE	4
SOMMAIRE	5
1. INTRODUCTION	10
2. SOMMAIRE DES OPTIONS DE POLITIQUES DE SOUTIEN AUX VER	15
3. LE MARCHÉ DES VER ET LEURS POLITIQUES DE SOUTIEN AU CANADA	17
4. REVUE DE LA LITTÉRATURE : MÉTHODES DE SIMULATION DES PARTS DE MARCHÉ DES VER	19
5. MODÈLE ÉCONOMÉTRIQUE REPAC (RESPONDENT-BASED PREFERENCE AND CONSTRAINTS)	24
5.1 Collecte de données du sondage	
5.2 Sous-modèle basé sur les choix	
5.3 Sous-modèle basé sur les véhicules	
5.4 Sous-modèle basé sur les contraintes	
5.5 Les régions au sein de REPAC	
5.6 Calculer les émissions de GES des véhicules de passagers au Canada	
6. SCÉNARIOS DE POLITIQUES	25
6.1. Scénario no1 : Maintien du statu quo (politiques actuelles de soutien aux VER)	25
6.2. Scénario no 2 : Politiques fortes axées sur la demande	30
6.3. Scénario de politiques no 3 : norme sur les véhicules zéro émission (VZE)	30
6.4. Limites des scénarios de politiques et du modèle économétrique REPAC	33
7. RÉSULTATS	35
7.1. Effets des contraintes sur les parts de marché	35
7.2. Analyse de la sensibilité des résultats du scénario de référence	36
7.3. Effets des scénarios de politiques sur les parts de marché des VER	38
7.4. Effets des scénarios de politiques sur la consommation énergétique et les émissions de GES des véhicules de passagers	41
8. ANALYSE DES RÉSULTATS	45
9. IMPLICATIONS RELATIVES AUX POLITIQUES	50
REMERCIEMENTS	52

À PROPOS D'ÉQUITERRE

Avec 140 000 sympathisants, 20 000 membres, 200 bénévoles et 40 employés, **Équiterre** est l'organisme environnemental le plus influent et le plus important au Québec.

Par ses projets de démonstration, d'éducation, de sensibilisation, de recherche et d'accompagnement, **Équiterre** mobilise des citoyens, des groupes sociaux, des entreprises, des organisations publiques, des municipalités, des chercheurs et des élus afin d'influencer les politiques publiques des gouvernements.

Mission

Équiterre propose des solutions concrètes pour accélérer la transition vers une société où les citoyens, les organisations et les gouvernements font des choix écologiques qui sont également sains et équitables.

Vision

D'ici 2030, **Équiterre** aura contribué, en partenariat avec les communautés locales, à l'émergence de politiques publiques ainsi que de pratiques citoyennes et corporatives favorisant une économie sobre en carbone et un environnement sans produits toxiques.

Champs d'intervention

Depuis sa création en 1993, **Équiterre** mène des projets sur des enjeux fondamentaux tels l'alimentation, l'agriculture, le transport, le bâtiment, la consommation et la lutte aux changements climatiques.

À titre d'exemple, Équiterre :

- Témoigne devant des commissions parlementaires à Québec et à Ottawa ;
- Participe à des processus de consultations du public comme le Bureau d'audiences publiques en environnement (BAPE), l'Office national de l'énergie (ONÉ) et l'Office de consultation publique de Montréal;
- Participe aux débats publics dans les médias traditionnels et sur les médias sociaux;
- Publie des mémoires et des rapports de recherches en appui à ses positions;
- Rencontre des élus des trois niveaux de gouvernements;
- Lance des pétitions et organise des événements publics comme des conférences de presse et des marches.

SOMMAIRE

Contexte : Diverses études, y compris celles menées par l'Agence internationale de l'énergie (AIE), révèlent que les véhicules électriques rechargeables (VER) joueront vraisemblablement un rôle crucial dans la « décarbonisation » du secteur des transports et qu'ils compteront pour au moins 40 % des ventes de véhicules légers neufs d'ici 2040. Dans son Cadre pancanadien en matière de croissance propre et de changement climatique annoncé en décembre 2016 (Canada, 2016), le gouvernement du Canada a exprimé son intention d'élaborer une stratégie visant à promouvoir les véhicules zéro émission afin de réduire les émissions du secteur des transports. Ce rapport dresse le portrait d'une étude réalisée à l'aide d'un modèle de simulation de l'adoption de véhicules dans le but de déterminer quelles sont les politiques qui permettraient d'entraîner des volumes de ventes de VER ambitieux dans le secteur des véhicules de passagers au Canada.

Méthodes : Nous avons mis au point une version pancanadienne du modèle économétrique REPAC (REspondent-based Preference and Constraint) afin de simuler les nouvelles parts de marché des véhicules électriques rechargeables en représentant les éléments clés de la demande et de l'offre de VER, ainsi que des politiques pertinentes (Figure E-1). Le modèle REPAC utilise un modèle à classes latentes de choix discrets estimé précédemment à partir de données recueillies en 2013 dans le cadre d'une enquête menée auprès de plus de 1 500 ménages acheteurs de véhicules neufs au Canada. Le modèle REPAC considère ces résultats de modèle de choix comme une mesure de la demande sans contrainte pour les VER à laquelle on ajoute ensuite les contraintes des consommateurs (la connaissance des VER et l'accès à un point de recharge à domicile) ainsi que les contraintes liées à l'offre (variété et disponibilité limitées des modèles de VER).

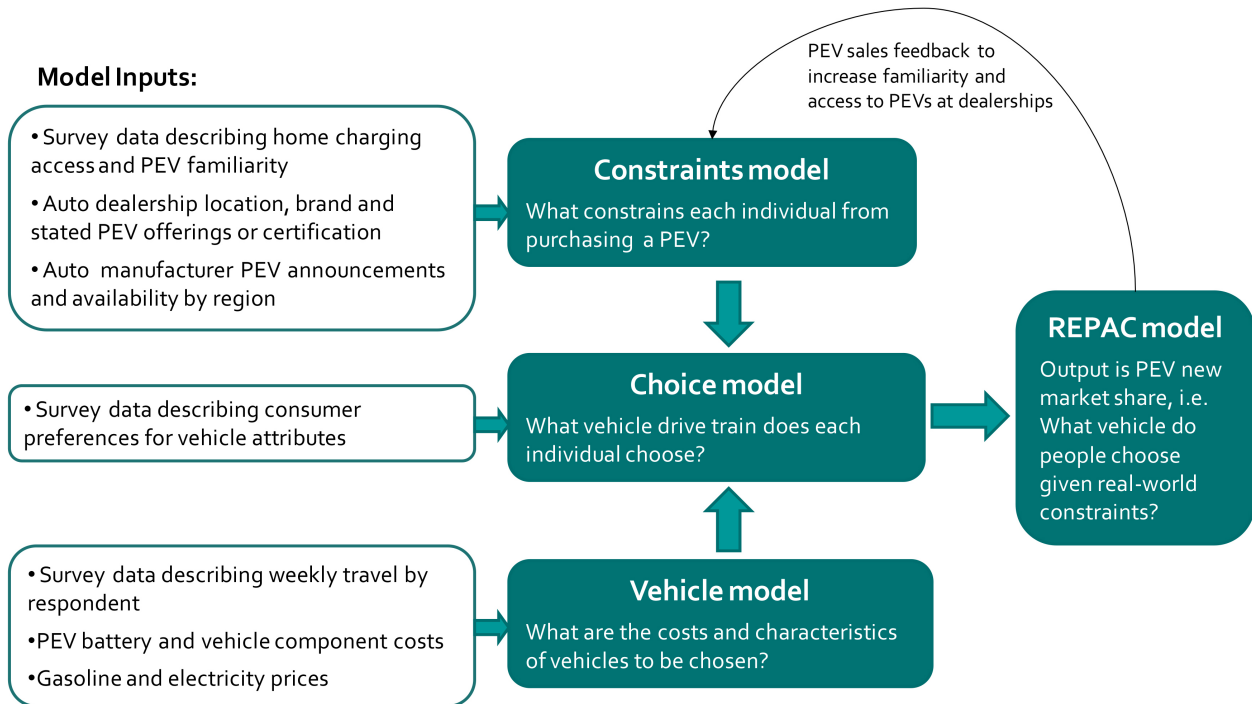


Figure E-1 : Structure du modèle REPAC de simulation des parts de marché des VER, Source : Wolinetz et Axse (sous presse)

La Figure E-2 illustre les effets individuels et combinés des trois catégories de contraintes appliquées au modèle REPAC pour l'année 2015 : l'accès à un point de recharge à domicile, la connaissance des VER et la disponibilité des VER. L'application simultanée de ces trois contraintes entraîne une demande limitée (CD pour constrained demand) de 1 % en 2015, ce qui est grandement semblable à la part de marché réelle des VER au Canada pour la même année.

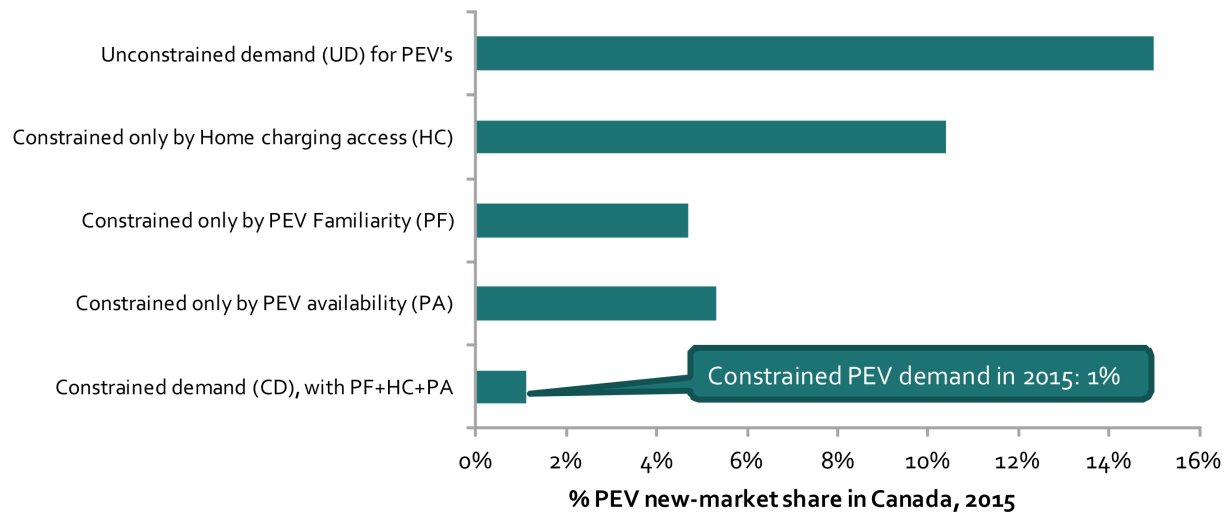


Figure E-2 : Effets des contraintes du modèle REPAC sur les nouvelles parts de marché des VER au Canada, 2015

Scénarios de politiques : Nous avons utilisé le modèle REPAC afin d'étudier trois scénarios de politiques pour le Canada.

1. **Politiques actuelles (MSQ) :** ce scénario comprend les politiques en vigueur au Canada en décembre 2016 (scénario de maintien du statu quo ou MSQ), y compris les politiques nationales et provinciales de soutien aux VER, ainsi que les programmes de tarification du carbone annoncés récemment et une norme sur les carburants propres.
2. **Politiques « fortes » axées sur la demande :** ce scénario ajoute au scénario MSQ un incitatif à l'achat de VER de 7 500 \$ à l'échelle du Canada pendant quatre ans (2018-2021), ainsi qu'un programme ambitieux de déploiement des infrastructures de recharge.
3. **Norme VZE :** ce scénario comprend les politiques du scénario MSQ, un incitatif à l'achat de 7 500 \$ pour chaque VER pendant deux ans (2018-2019) et le déploiement ambitieux des infrastructures de recharge auxquels est ajouté une norme VZE (véhicules zéro émission). Nous modélisons cette norme afin qu'elle soit légèrement plus ambitieuse que celles déjà instaurées en Californie et au Québec en considérant qu'elle exige que les VER comptent pour au moins 20 % des ventes de véhicules neufs d'ici 2025 et pour 30 % d'ici 2030. Nous avons modélisé le respect de la norme par les constructeurs automobiles par les éléments suivants : i) une disponibilité et une variété accrues des marques et des modèles de VER et ii) le recours à l'interfinancement interne afin de réduire les prix des VER et augmenter ceux des véhicules non électriques.

Résultats : La Figure E-3 illustre la courbe modélisée des parts de marché des VER neufs de 2015 à 2030 pour chacun des trois scénarios de politiques. Les parties ombragées représentent l'incertitude des prédictions qui découle de la variation de quatre paramètres déterminés dans l'analyse de sensibilité : la limite inférieure de chaque zone ombragée est déterminée par les valeurs les plus « pessimistes » attribuées aux paramètres de l'analyse de sensibilité (la contrainte liée à la connaissance des VER, la contrainte de disponibilité des VER, le prix de l'essence et le prix d'achat des VER), alors que la limite supérieure est déterminée par les valeurs opposées. Les résultats sont les suivants pour chacun des scénarios :

1. **Politiques actuelles (MSQ) :** les nouvelles parts de marché des VER augmentent pour se situer dans la fourchette de 4 % à 17 % en 2018, diminuent en 2019 lorsque les incitatifs à l'achat prennent fin et augmentent à nouveau pour atteindre 6-17 % en 2030.
2. **Politiques « fortes » axées sur la demande :** les nouvelles parts de marché des VER culminent entre 13-32 % en 2021, et retombent à 4-13 % en 2022 lorsque les subventions expirent pour atteindre 10-20 % en 2030.
3. **Norme VZE :** si l'on présume que les constructeurs automobiles se conforment aux exigences de la norme VZE, on conclut qu'ils sont en mesure de respecter le calendrier de ventes exigées chaque année. Même en se basant sur les hypothèses les plus pessimistes (incluant des prix du pétrole faibles et des coûts de batterie élevés), les nouvelles parts de marché des VER pourraient atteindre 30 % en 2030. Selon le scénario le plus optimiste, les parts de marché pourraient augmenter pour se situer à 48 % en 2030.

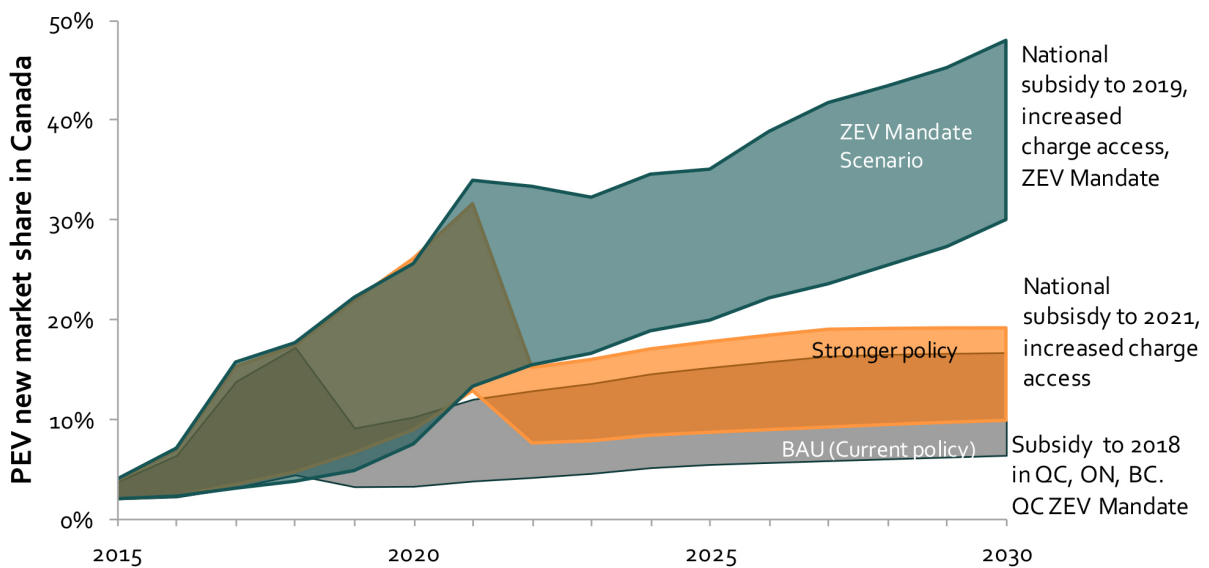


Figure E-3 : Les nouvelles parts de marché des VER selon les différents scénarios de politiques (les zones ombragées représentent l'incertitude qui découle des contraintes liées à la connaissance des VER, à la disponibilité des VER, au prix de l'essence et au prix d'achat des VER)

Recommandations relatives aux politiques : les résultats de notre étude comportent de nombreuses implications de la part des décideurs politiques canadiens, particulièrement en ce qui concerne la stratégie sur les véhicules zéro émission du Cadre pancanadien en matière de croissance propre et de changement climatique :

1. L'ensemble de politiques canadiennes actuelles en matière de climat et de soutien aux VER n'est pas suffisamment coercitif pour induire une augmentation des nouvelles parts de marché des VER les situant à plus de 6-17 % d'ici 2030.
2. Même une gamme de politiques « fortes » axées sur la demande n'est pas susceptible d'entraîner des nouvelles parts de marché de plus de 10-20 % pour les VER d'ici 2030.
3. Une norme VZE peut s'avérer efficace à long terme, et les constructeurs automobiles peuvent être en mesure de satisfaire aux exigences de ventes des VER établies à 20 % des ventes de véhicules légers d'ici 2025 et à 30 % d'ici 2030, même selon les conditions les plus pessimistes (coût de batterie élevé et faible prix du pétrole).
4. Selon nos scénarios, une norme VZE serait accompagnée d'un incitatif temporaire accordé à l'achat d'un VER et d'un programme ambitieux de déploiement des infrastructures de recharge (à domicile, au travail et dans les lieux publics).
5. En somme, une norme VZE rigoureuse jumelée à un incitatif à l'achat de VER fort mais temporaire ainsi qu'à un programme ambitieux de déploiement des infrastructures de recharge pourrait constituer un élément efficace du Cadre pancanadien en matière de croissance propre et de changement climatique.

1. INTRODUCTION

Dans son Cadre pancanadien en matière de croissance propre et de changement climatique annoncé en décembre 2016, le gouvernement du Canada a exprimé son intention d'élaborer une stratégie visant à promouvoir les véhicules zéro émission afin de réduire les émissions du secteur des transports (Canada, 2016). Le Cadre ne fait pas mention de politiques en particulier, mais il évoque la norme véhicules zéro émission (VZE) adoptée récemment au Québec. Afin d'aider le gouvernement du Canada à orienter ses choix en matière de politiques efficaces, notre rapport utilise un modèle de simulation de l'adoption des VER afin de déterminer quelles sont les politiques qui permettraient d'atteindre des objectifs ambitieux de ventes de VER dans le secteur des véhicules de passagers au Canada, soit plus de 30 % de nouvelles parts de marché d'ici 2030¹.

Plus du quart des émissions totales de gaz à effet de serre du Canada provient du transport de marchandises et de personnes (2016) : une réduction considérable des émissions de GES du secteur des transports s'avère donc essentielle pour atteindre les cibles nationale et provinciales de réduction des effets des changements climatiques. Les véhicules électriques rechargeables (VER), y compris les véhicules purement électriques à batterie (VEB) et les véhicules hybrides rechargeables (VHR), permettraient de réduire les émissions de 45 % à 98 % comparativement aux véhicules classiques à essence (Axsen et coll., 2015b). Selon les recherches, l'adoption généralisée des VER sera vraisemblablement nécessaire pour atteindre les cibles à long terme en matière de climat (Williams et coll., 2012). Par exemple, l'Agence internationale de l'énergie affirme que pour limiter le réchauffement planétaire à 2 degrés Celsius, 40 % des véhicules neufs de passagers vendus d'ici 2040 devront être électriques (AIE, 2015). Les études menées au Canada révèlent qu'une adoption encore plus rapide des VER pourrait être nécessaire, avec possiblement jusqu'à 80 % à 90 % des ventes de véhicules de passagers d'ici 2050 pour atteindre les cibles nationale et provinciales de réduction des GES (Bahn et coll., 2013 ; Sykes, 2016).

Au vu de tels objectifs climatiques, plusieurs décideurs politiques et parties prenantes souhaitent connaître les prévisions de ventes de VER et comprendre comment ils peuvent les

1. Des sections du présent rapport s'appliquant au cas de la Colombie-Britannique ont été récemment publiées dans la revue *Technological Forecasting & Social Change* dans un article rédigé par messieurs Wolinetz et Axsen (sous presse). Toutefois, le modèle adapté à l'ensemble du Canada et l'analyse présentés dans ce rapport sont inédits et n'ont fait l'objet d'aucune autre publication.

influencer au moyen de politiques. Dans ce rapport, nous utilisons le modèle économétrique REPAC (REspondent-based Preference And Constraint Model) qui avait initialement été élaboré afin de simuler les effets de politiques sur les parts de marché des VER dans la province canadienne de la Colombie-Britannique (Wolinetz et Axsen, sous presse). Nous avons élargi la portée de ce modèle afin de représenter la demande des consommateurs et les répercussions des émissions pour l'ensemble du Canada, en mettant l'accent sur trois objectifs principaux :

1. Déterminer l'ensemble de politiques susceptibles d'être nécessaires pour que les VER comptent pour au moins 30 % des parts de marché des véhicules neufs d'ici 2030 ;
2. Quantifier les effets de ces scénarios de pénétration de marché des VER en ce qui concerne les gaz à effet de serre et l'énergie ;
3. Établir une distinction entre les effets qui découlent des politiques axées sur la demande et de celles axées sur l'offre dans l'atteinte de ces taux de pénétration.

De façon générale, les prévisions de ventes de véhicules à carburant de remplacement sont, par nature, incertaines et souvent indûment optimistes. La littérature qui porte sur le marché des VER regorge de prévisions fort divergentes, où les scénarios « sans politique » attribuent aux VER des parts de marché des véhicules neufs allant d'aussi peu que 1 % en 2030 à 5 % dès 2020 (Gnann et coll., 2015 ; Sullivan et coll., 2009). La littérature grise (c.-à-d. les publications non révisées par les pairs) comprend des études encore plus optimistes, avec des prévisions de ventes de VER de 17-28 % des ventes de véhicules neufs en 2020 et de 30-70 % en 2030 sans politique de soutien en place (AECOM, 2011 ; Becker et Sidhu, 2009).

Ainsi, il est crucial que le modèle de simulation de l'adoption des VER représente les effets des différents types de politiques, en particulier celles « axées sur la demande » et celles « axées sur l'offre » (Axsen et coll., 2016b). Les politiques axées sur la demande visent à attiser directement l'intérêt des consommateurs envers les VER grâce à des subventions à l'achat et au déploiement d'infrastructures de recharge, ou encore en offrant des incitatifs non financiers tels que l'accès aux voies réservées aux véhicules multioccupants (VMO) et du stationnement gratuit. La Norvège est un exemple de pays où l'on retrouve des politiques axées sur la demande très agressives, incluant des subventions élevées pour l'achat de VER et des incitatifs non financiers, ainsi qu'un taux de taxe élevé sur l'essence et les véhicules traditionnels. Principalement grâce à ces politiques, la Norvège occupe actuellement le premier rang mondial de ventes de VER, qui ont représenté 22 % des ventes de véhicules neufs en 2015 (EAFO,

2016). La vaste majorité des études de simulation de parts de marché des VER menées précédemment et qui modélisaient explicitement des politiques représentaient uniquement les politiques axées sur la demande, principalement celles qui incluent les subventions à l'achat et les infrastructures de recharge.

En revanche, les politiques axées sur l'offre exercent directement une pression sur les fournisseurs d'automobiles ou de carburant (ou elles les motivent) afin qu'ils mettent au point, qu'ils commercialisent et vendent des VER. Les exemples de telles politiques incluent la norme sur les véhicules zéro émission (VZE) de la Californie, la norme de carburant à faible teneur en carbone ainsi que les subventions pour les activités de recherche et développement (R&D). Bien que les politiques axées sur l'offre ont suscité moins d'intérêt dans la littérature (Greene et Ji, 2016), quelques études reconnaissent tout de même leur importance. Par exemple, une récente analyse des données de ventes des VER aux États-Unis pour l'année 2014 a démontré une plus grande disponibilité de VER dans les villes situées dans les états où une « norme VZE » est en vigueur (davantage de modèles disponibles à la vente) ainsi qu'un volume de ventes généralement plus élevé que dans les autres villes des États-Unis (Lutsey et coll., 2015). En outre, deux autres analyses de modélisation indiquent qu'une norme VZE, en plus d'une politique forte axée sur la demande, sera vraisemblablement nécessaire pour entraîner des réductions importantes de GES dans le secteur des véhicules de passagers aux États-Unis (De Vos et coll., 2016 ; Greene et coll., 2014).

Certains chercheurs soutiennent que les politiques axées sur l'offre peuvent jouer un rôle important afin d'orienter les activités liées à l'innovation vers l'amélioration des technologies futures à faibles émissions de carbone. Bien que les constructeurs automobiles ont généralement en place des systèmes d'innovation efficaces, ils sont tout de même susceptibles d'avoir besoin de soutien supplémentaire pour produire des véhicules à faibles émissions de carbone, notamment grâce au financement par le gouvernement de leurs activités de R&D (Köhler et coll., 2013), surtout si l'on souhaite mettre fin à la prédominance des véhicules alimentés aux combustibles fossiles (Oltra et Saint Jean, 2009). La raison évoquée est que le secteur de l'automobile se trouve confronté à un certain nombre de « défaillances » qui entravent la transition vers les technologies à faibles émissions de carbone. Outre les défaillances du marché prenant la forme d'externalités négatives telles que les émissions de gaz à effet de serre, il y a les « défaillances systémiques », qui incluent le manque d'attentes et d'objectifs communs en ce qui concerne la mise au point de nouvelles technologies,

l'aménagement d'infrastructures et la réglementation environnementale (Melton et coll., 2016 ; Weber et Rohracher, 2012). En somme, une transition à grande échelle vers les technologies de véhicules à faibles émissions de carbone nécessitera sans aucun doute un important soutien de la part du gouvernement accordé sous forme d'un ensemble de politiques axées à la fois sur la demande et sur l'offre.

Le modèle économétrique REPAC est conçu de façon à pallier les lacunes des modèles précédents soulignées par Al-Alawi et Bradley (2013) dans leur revue de la littérature, lesquels comportaient une représentation faible des comportements des consommateurs, une représentation tronquée des effets des politiques nationales et régionales ainsi qu'une représentation inexistante de l'offre de véhicules. Nous caractérisons le modèle économétrique REPAC comme étant « basé sur les répondants » (respondent-based), car il repose sur les données d'une enquête menée auprès de plus de 1 700 ménages acheteurs de véhicule neuf au Canada. Les véhicules électriques rechargeables ciblés dans le cas présent incluent tant les véhicules hybrides rechargeables (VHR), qui peuvent être raccordés et rechargés sur un réseau électrique et alimentés à l'essence, que les véhicules électriques à batterie (VEB) qui fonctionnent uniquement à l'énergie électrique. Notre étude est axée sur les véhicules de passagers à usage personnel, alors que les véhicules de passagers du parc automobile comptent pour environ 18 % des ventes de véhicules légers neufs au Canada (dont 30 % appartiennent aux parcs de véhicules commerciaux ou gouvernementaux, et le reste aux flottes de véhicules de location) (Canadian Automotive Fleet, 2016 ; Statistique Canada, 2016). Nous sommes d'avis qu'il est raisonnable d'omettre certains parcs automobiles dans la modélisation de véhicules de passagers au Canada : nous présumons de manière implicite que les décisions d'achat des acheteurs de véhicules de parcs automobiles sont les mêmes que celles des acheteurs de véhicules à usage personnel que nous modélisons. Néanmoins, une étude subséquente des décisions d'achat selon les différents parcs automobiles permettrait d'améliorer le présent modèle.

Dans la suite de ce document, nous procédons à une analyse plus approfondie de la littérature, et nous expliquons en détail le modèle économétrique REPAC adapté à l'échelle du Canada, incluant les données d'enquête qui font partie des intrants et ses trois sous-modèles. Nous appliquons ensuite le modèle REPAC aux cas de politiques de soutien aux VER au Canada selon trois scénarios différents : 1) les politiques actuellement en vigueur au Canada, 2) l'ajout de politiques fortes axées sur la demande 3) l'ajout d'une norme nationale VZE qui exige que les

VER atteignent 20 % des nouvelles parts de marché d'ici 2025 et 30 % d'ici 2030. Pour chaque scénario, nous présentons les résultats des nouvelles parts de marché des VER simulées à l'horizon 2030 ainsi que la consommation d'énergie et les émissions de GES associées. En guise de conclusion du rapport, nous soulignons les implications qui concernent les politiques climatiques du Canada.

2. SOMMAIRE DES OPTIONS DE POLITIQUES DE SOUTIEN AUX VER

Les recherches et l'expérience concrète démontrent que des politiques fortes de soutien aux VER peuvent faire grimper les ventes près des niveaux requis pour atteindre les cibles à long terme de réduction des GES (Axsen et coll., 2016b). Les recherches qui portent sur le marché nord-américain des véhicules indiquent que des politiques fortes contribuant à éliminer les barrières qui limitent tant l'offre que la demande peuvent faire augmenter les parts de marché futures des VER jusqu'à 24-40 % d'ici 2030 (Lin et Greene, 2011; Sullivan et coll., 2009; Tran et coll., 2013). Globalement, on constate que les régions qui ont en place les politiques de soutien aux VER les plus rigoureuses — la Norvège, les Pays-Bas et l'État de la Californie — sont également celles où les parts de marché détenues par les VER sont les plus élevées. Au Canada, les parts de marché des VER resteront sans doute faibles sans l'adoption de politiques fortes similaires.

Une vaste gamme de politiques peuvent contribuer à stimuler l'adoption des VER. De façon générale, les politiques sont catégorisées comme étant axées soit sur la demande, soit sur l'offre. Les politiques axées sur la demande visent à soutenir ou à stimuler la demande des consommateurs pour les VER, soit au moyen d'incitatifs financiers, de codes de bâtiments qui soutiennent les VER ou d'infrastructures de recharge. Les politiques axées sur l'offre incitent ou obligent les fournisseurs, tels que les constructeurs automobiles, les concessionnaires automobiles ou les fournisseurs de carburant, à mettre au point et à vendre des VER en exigeant, par exemple, qu'un certain pourcentage de véhicules exempts d'émissions d'échappement soient vendus dans une province ou un territoire, en soutenant la recherche et le développement ou encore en établissant des normes de carburants à faible teneur en carbone.

Les exemples de politiques axées sur la demande incluent :

- **Les incitatifs financiers** qui diminuent le coût des VER et des infrastructures de recharge.
- **Les incitatifs non financiers** qui offrent d'autres avantages aux consommateurs, notamment un accès complet aux voies réservées aux voitures multioccupants (VMO) et du stationnement gratuit.
- **Le déploiement de points de recharge publics** permet de recharger les véhicules ailleurs qu'à la maison et se trouve souvent financé par les gouvernements régionaux et les services publics.
- **La tarification du carbone** augmente le prix des carburants et des activités qui génèrent des émissions de carbone, et fait de l'électricité à faible émission de carbone une option

meilleure marché que l'essence grâce à une taxe sur le carbone ou des programmes de plafonnement et d'échange de droits d'émission.

- [Une réglementation pour les bâtiments](#) peut faciliter l'installation d'un système de recharge à domicile et diminuer son coût, par exemple grâce à des codes de bâtiment ou des règlements de construction qui exigent que les nouveaux immeubles possèdent un certain nombre d'accès à des prises électriques pour la recharge de véhicules.
- [Des campagnes de communication](#) afin d'informer le public au sujet des VER et de leur recharge, y compris de la publicité financée par le secteur public, de l'information destinée aux consommateurs, des sites Web à vocation informative et l'étiquetage de véhicules.

Les exemples de politiques axées sur l'offre incluent :

- [Les normes relatives aux véhicules zéro émission \(VZE\)](#) qui obligent les constructeurs automobiles à vendre minimalement un certain pourcentage de VER ou de véhicules à pile à hydrogène. Une telle mesure incite les constructeurs automobiles à faire de la recherche, à mettre au point et à commercialiser une gamme plus vaste de modèles et entraîne potentiellement une réduction des prix de vente également.
- [Du soutien pour la recherche et le développement \(R&D\)](#) fournit du financement gouvernemental pour l'innovation technologique et le développement liés aux VER.
- [Des normes de carburant à faible teneur en carbone \(LCFS\)](#) obligent les fournisseurs de carburant à réduire l'intensité carbonique des carburants qu'ils vendent dans les régions où la norme est en vigueur. Une LCFS peut favoriser l'adoption des VER étant donné que l'électricité est considérée comme un « carburant » à faible teneur en carbone. Un fournisseur de carburant pourrait être en mesure de satisfaire à certaines, voire à toutes les exigences d'une LCFS en achetant des crédits aux services publics d'électricité qui fournissent de l'électricité pour les VER, créant ainsi un attrait pour les services publics d'électricité de soutenir le déploiement des VER (par exemple en affectant les recettes des ventes de crédit à la construction de postes de recharge supplémentaires ou en diminuant les taux d'électricité pour les utilisateurs de VER).
- [Des normes d'émissions des véhicules](#) déterminent un niveau maximal d'émissions d'échappement pour chaque catégorie de véhicules. Étant donné que les VER sont exempts d'émissions d'échappement, des ventes augmentées aideraient les constructeurs automobiles à satisfaire à cette norme.

3. LE MARCHÉ DES VER ET LEURS POLITIQUES DE SOUTIEN AU CANADA

Notre équipe, la Sustainable Transportation Action Research Team (START), a récemment publié un rapport qui résume et évalue les politiques de soutien aux VER en vigueur au Canada (Axsen et coll., 2016b). La présente rubrique présente une synthèse de certaines données de notre rapport qui concernent le marché des VER et les différents types de politiques qui les soutiennent.

Le marché des VER au Canada est en expansion, mais il demeure tout de même restreint. En juin 2016, plus de 20 000 véhicules électriques avaient été vendus au Canada, et en 2015, les véhicules électriques ont compté pour environ 1 % des ventes de véhicules neufs (CANSIMS, 2015 ; Klippenstein, 2016). Les ventes de VER au Canada ont principalement été réalisées au Québec, en Ontario et en Colombie-Britannique, trois provinces qui ensemble comptent pour plus des deux tiers de la population du Canada. Ces trois provinces ont également en place des politiques de soutien aux VER fortes comparativement aux autres provinces canadiennes. Le Tableau 1 illustre les nouvelles parts de marché des VER pour chaque province en 2015 ainsi que les ventes totales de VER de 2011 à juin 2016.

Tableau 1 : Parts de marché et ventes totales des véhicules électriques par province

RÉGION	NOUVELLES PARTS DE MARCHÉ DES VER (2015)	VENTES TOTALES DE VER (2011-2016)*
Canada (échelle nationale)	0,9 %	22 763
Colombie-Britannique	2,0 %	4 190
Alberta	0,3 %	537
Saskatchewan	0,1 %	60
Manitoba	0,2 %	125
Ontario	0,7 %	7 248
Québec	1,4 %	10 503
Nouveau-Brunswick	0,1 %	87
Nouvelle-Écosse	0,1 %	94
Île-du-Prince-Édouard	0,0 %	11
Terre-Neuve-et-Labrador	0,0 %	15

Sources : (CANSIMS, 2015 ; Klippenstein, 2016 ; Trochaniak, 2016), données résumées dans Axsen et coll. (2016b).

*Données de ventes de véhicules électriques en date de juin 2016.

Nous avons dénombré 96 politiques de soutien aux VER au Canada dans le cadre de notre analyse. Parmi ces politiques, 8 ne sont plus en vigueur, 60 sont toujours en place et 28 sont à l'état de proposition (en date d'octobre 2016) (Axsen et coll., 2016b). Au Canada, le nombre de politiques de soutien aux VER varie considérablement d'une province à l'autre (Figure 1), et la majorité est axée sur la demande et prend principalement la forme d'incitatifs financiers (pour les VER et les dispositifs de recharge à domicile), de déploiement d'infrastructures de recharge et de campagnes de communication. En revanche, les politiques axées sur l'offre sont bien peu nombreuses au Canada : le règlement fédéral sur les émissions de gaz à effet de serre des véhicules routiers, la norme de carburants à faible teneur en carbone de la Colombie-Britannique et la *Loi VZE* du Québec.

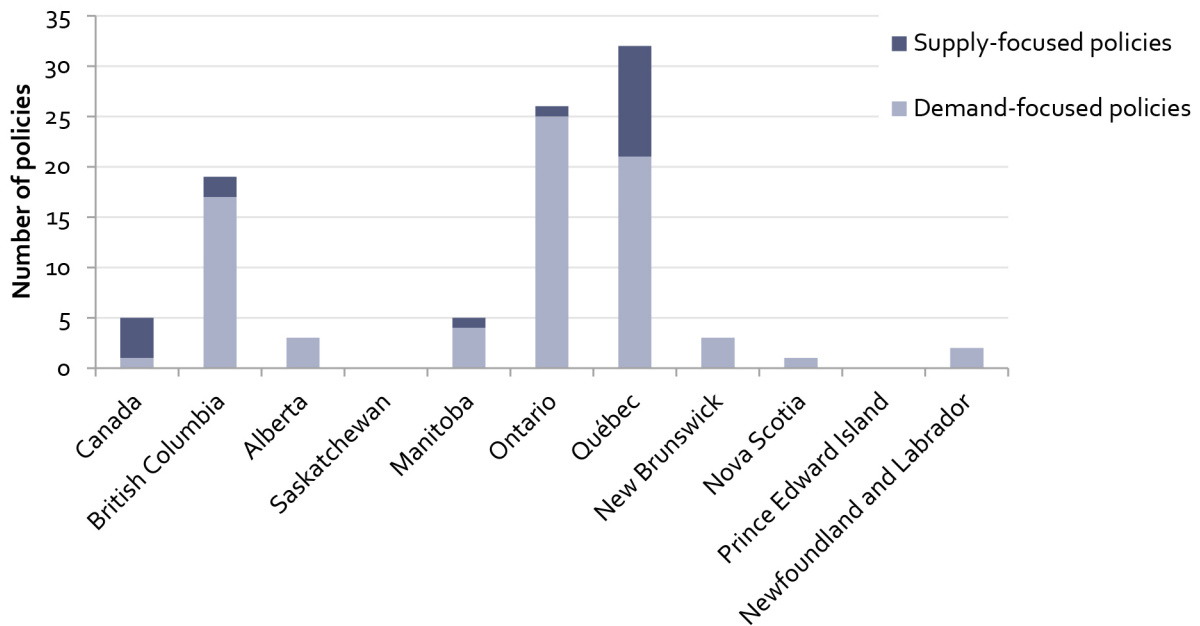


Figure 1 : Nombre de politiques par province axées sur la demande et sur l'offre (incluant les politiques en vigueur, expirées et proposées), Source : Axsen et coll. (2016b)

4. REVUE DE LA LITTÉRATURE : MÉTHODES DE SIMULATION DES PARTS DE MARCHÉ DES VER

Cette rubrique présente une revue de la littérature axée sur les différentes méthodes de simulation des parts de marché des VER telle que publiée dans notre récent article de revue scientifique (Wolinetz et Axsen, sous presse). Afin de résumer et de comparer les différentes méthodes de modélisation, nous avons utilisé un cadre à trois catégories que nous avons adapté à partir des recommandations formulées par Al-Alawi et Bradley (2013), qui est présenté sommairement dans le Tableau 2.

1. La première catégorie tient compte des représentations de la demande de VER. Un excellent modèle de prévision de la demande de VER inclut les éléments suivants :
 - Il utilise un ensemble diversifié de données sur les consommateurs (possiblement recueillies dans le cadre d'une enquête menée auprès d'un vaste échantillon de répondants) ;
 - Il comprend des représentations empiriques des préférences des consommateurs qui n'incluent pas seulement les motivations financières (p. ex. les économies de coûts) ou fonctionnelles (p.ex. l'autonomie en mode électrique), mais également les motivations symboliques (p.ex. Heffner, 2007) ;
 - Il tient compte du manque de connaissances ou de familiarité des consommateurs en ce qui concerne la technologie des VER, lesquelles peuvent être limitées (Axsen et coll., 2015b ; Axsen et Kurani, 2008) et empêcher les préférences de se révéler initialement (Bettman et coll., 1998 ; Kurani et coll., 1996).
2. La deuxième catégorie concerne la représentation de l'offre de VER, laquelle tient compte de la quantité et de la variété des VER disponibles à la vente pour chaque catégorie de véhicules, puisque la taille d'un véhicule, le niveau de confort, le style et la marque peuvent tous influencer l'intérêt des consommateurs (Choo et Mokhtarian, 2004). En outre, le modèle doit représenter le fait que certains concessionnaires automobiles ne gardent pas de tels modèles de VER en inventaire ou qu'ils n'ont pas de stratégie de vente agressive pour ce type de véhicules, contrairement à l'Ontario et à la Californie (Cahill et coll., 2014 ; Clairman, 2014).
3. La dernière catégorie concerne les politiques. Un excellent modèle représente explicitement les divers effets des politiques axées sur la demande (par exemple les subventions à l'achat et le déploiement des infrastructures de recharge) et de celles

axées sur l'offre (par exemple une norme VZE, le financement de la R&D ou une norme de carburant à faible teneur en carbone).

Tableau 2 : Résumé graphique et comparaison des caractéristiques des modèles de prévision relatifs aux VER (cadre de comparaison adapté de Al-Alawi et Bradley, 2013), Source : Wolinetz et Axsen (sous presse)

	CONTRAINTES		MODÈLES DE CHOIX DISCRETS			MODÈLES BASÉS SUR LES AGENTS				
Études citées	Williams et Kurani (2006)	Lopez et coll. (2014)	Potoglou et coll. (2007)	Glerum et coll. (2013)	Tran et coll. (2013)	Sullivan et coll. (2009)	Eppstein et coll. (2011)	Lin et Greene (2011)	Shafiei et coll. (2012)	Gnann et coll. (2015)
Nom du modèle/acronyme						VAMMP		MA3T		ALADIN
Véhicules de remplacement inclus	Rechargeable à pile à combustible	VEB	Carburants de remplacement génériques	VEB	VHR, VEB, Pile à combustible	VHE, VHR	VHE, VHR	VHR, VEB	VEB	VHR, VEB
CARACTÉRISTIQUES LIÉES À LA DEMANDE										
Données d'enquête menée auprès des consommateurs	Oui	Oui	Oui	Oui				Oui	Oui	Oui
Préférences fondées sur les données empiriques			Oui	Oui					Oui	Oui
Connaissances des consommateurs							Oui	Oui	Oui	
Préférences hétérogènes		Oui			Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
CARACTÉRISTIQUES LIÉES À L'OFFRE										
Variété des modèles						Oui				Oui
Disponibilité des modèles								Oui		
Types polycarburants						Oui	Oui	Oui		Oui
Classes de véhicules multiples						Oui		Oui		Oui
Infrastructures de recharge	Oui	Oui			Oui			Oui	Oui	Oui
CARACTÉRISTIQUES DE LA SIMULATION DE POLITIQUES										
Politiques axées sur la demande		Oui	Oui			Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Politiques axées sur l'offre										
NOUVELLES PARTS DE MARCHÉ DES VER, SANS POLITIQUE										
Estimations pour 2020	15 %	2 %		27 %	4 %	1 %		4 %	6 %	5 %
Estimations pour 2025-2030				27 %	4 %	1 %		8 %	6 %	
NOUVELLES PARTS DE MARCHÉ DES VER, AVEC POLITIQUES FORTES AXÉES SUR LA DEMANDE										
Politique ou incitatif		Diminution de prix			Installation de points de recharge + diminution de prix	Diminution de prix		Installation de points de recharge	Diminution de prix	Coût du carburant + diminution de prix
Estimations pour 2020		6 %			40 %	5 %		10 %	100 %	10 %
Estimations pour 2025-2030					40 %	24 %		25 %	100 %	

Il existe différentes façons de catégoriser les types de modèles, et nous résumons ici trois catégories (Tableau 2) : les modèles basés sur les contraintes, les modèles de choix discrets et les modèles basés sur les agents. L'analyse effectuée par Al-Alawi et Bradley (2013) comprend une catégorie supplémentaire appelée modèles de diffusion et de séries temporelles qui, typiquement, cherchent à donner la forme d'une courbe sigmoïde (courbe en S) aux données de ventes existantes afin de prévoir les parts de marché futures à l'aide d'un certain nombre d'hypothèses, comme le modèle de diffusion de Bass (1969). Bien que ce type de modèle a été utilisé pour les carburants de remplacement (p. ex. Becker et Sidhu, 2009), nous nous y attardons moins considérant l'objectif de la présente recherche qui consiste à simuler les effets des politiques sur la pénétration des VER.

Tout d'abord, les modèles basés sur les contraintes établissent des prévisions de la pénétration du marché des VER en tenant compte des contraintes des consommateurs des points de vue physique, fonctionnel et des ressources, telles que l'accès à un point de recharge à domicile et les habitudes de conduite. De tels modèles disposent d'une représentation de la demande plutôt simpliste, étant donné que l'intérêt des consommateurs envers les VER n'est ni déclaré ni révélé : il est plutôt déduit à partir des contraintes. Par exemple, deux études ont estimé le potentiel de parts de marché des VER selon la proportion des ménages dont les caractéristiques rendent la recharge à domicile vraisemblablement réalisable (Nesbitt et coll., 1992 ; Williams et Kurani, 2006). De leur côté, Pearre et ses collaborateurs (2011) se sont servi des données de journaux de route pour conclure qu'un VEB doté d'une autonomie de 160 km (rechargé à domicile uniquement) pourrait satisfaire les besoins de déplacement de 17 % à 32 % des conducteurs aux États-Unis. Une autre analyse basée sur les contraintes a cherché à déterminer le potentiel du marché des VER à Lisbonne au Portugal à l'aide de mesures des caractéristiques socioéconomiques et des habitudes de déplacement des ménages, y compris la capacité financière d'un ménage d'acheter un VEB, la mesure selon laquelle le véhicule satisferait les besoins de déplacement du ménage et la possibilité de recharger le véhicule à domicile et au travail (Lopes et coll., 2014). De tels modèles fournissent peu de renseignements sur les motivations réelles de consommateurs ou sur la prise de décisions, et ils omettent de considérer l'offre de véhicules, ce qui les rend peu efficaces pour comprendre les effets potentiels des politiques qui concernent les VER. Au mieux, de tels modèles fournissent une « limite supérieure » de ventes de VER dans les conditions qui prévalent, à condition que les indicateurs de l'intérêt des consommateurs envers les VER (p. ex. les habitudes de conduite) correspondent aux préférences réelles même si, bien souvent, de telles hypothèses ne sont pas étayées dans la littérature.

En second lieu, les modèles de choix discrets des consommateurs cherchent à représenter les préférences des consommateurs et la prise de décision à l'aide d'une fonction d'utilité qui, à son tour, permet de simuler les parts de marché des véhicules à l'aide d'un modèle

économétrique de type logit (McFadden, 1974 ; Train, 1980). Ces modèles de choix peuvent être directement estimés à l'aide de données d'études telles que les données de type « choix déclarés » (Hidrue et coll., 2011 ; Potoglou et Kanaroglou, 2007), par le truchement d'une analyse statistique des données du marché (Brownstone et coll., 2000), ou par l'intermédiaire de paramètres « non liés aux données » testés avec la méthode de simulation Monte-Carlo (Tran et coll., 2013). Dans certains cas, on présume que la demande des consommateurs est uniquement motivée par le coût total d'acquisition (la valeur actuelle nette du véhicule) même si les recherches empiriques ont démontré que les consommateurs n'achètent pas les véhicules de passagers seulement en fonction de motivations financières et fonctionnelles (Heffner et coll., 2007 ; Turrentine et Kurani, 2007). Les modèles de choix discrets peuvent s'avérer relativement efficaces pour représenter l'aspect de la demande, mais ils ignorent généralement les contraintes de consommation réelles, comme le manque de connaissances, en supposant que les consommateurs possèdent toute l'information nécessaire. Étant donné que les modèles basés sur les choix déclarés tiennent compte de préférences déterminées parmi un ensemble de choix hypothétiques, les résultats peuvent être faussés si les consommateurs ne sont pas invités à prendre pleinement en considération leurs habitudes et contraintes réelles, telles que les limites de budget (p. ex. des répondants pourraient feindre de disposer d'un budget exagérément élevé en effectuant leurs décisions d'achat). Par conséquent, les modèles de choix déclarés produisent généralement des estimations élevées en ce qui concerne l'évaluation des véhicules à carburant de remplacement et les parts de marché (p. ex. Tran et coll., 2013), et peuvent s'avérer non fiables s'ils ne sont pas jumelés à des préférences révélées en situation réelle ou sur les données du marché (Axsen et coll., 2009). En outre, l'aspect de l'offre est typiquement non représenté dans les modèles de choix discrets, ce qui rend ces modèles inefficaces pour représenter les effets des contraintes liées à l'offre et des politiques axées sur l'offre.

En troisième lieu, les modèles basés sur les agents simulent les choix et les interactions des différents agents, tels que les consommateurs, les constructeurs automobiles et le gouvernement, qui cherchent tous à atteindre leurs objectifs en étant soumis à différents ensembles de contraintes. Les modèles basés sur les agents sont très flexibles étant donné qu'ils peuvent être conçus pour représenter les ventes de VER en utilisant certains aspects des modèles de choix tout en tenant compte des contraintes des agents telles que l'accès à des points de recharge de véhicules (Lin et Greene, 2011), la diversité des véhicules (Gnann et coll. 2015), ainsi que les connaissances des consommateurs et leur volonté d'envisager l'achat d'un VER (Shafiei et coll., 2012). Les modèles basés sur les agents ont le potentiel de modéliser de manière endogène l'aspect de la demande en représentant explicitement la prise de décisions des constructeurs automobiles (Sullivan et coll., 2009) ou en représentant la disponibilité des modèles de VER en fonction des parts de marché (Lin et Greene, 2011). Les modèles basés

sur les agents peuvent également représenter les relations spatiales et sociales entre les agents, notamment la façon dont la proximité physique ou sociale peut influencer les décisions d'achat d'autres agents (Eppstein et coll., 2011 ; Shafiei et coll., 2012). Étant donné la grande flexibilité de la structure des modèles basés sur les agents, cette méthode ne comporte pas de limite en soi : les limites varient plutôt selon les cas (comme le démontre le Tableau 2). À titre d'exemples de critiques formulées à cet égard, certains modèles — par ailleurs bien conçus — ont omis d'utiliser les données empiriques afin de représenter les préférences des consommateurs (Eppstein et coll., 2011 ; Lin et Greene, 2011 ; Sullivan et coll., 2009), n'ont pas représenté les contraintes liées au niveau de connaissances des consommateurs (Gnann et coll., 2015 ; Sullivan et coll., 2009), et n'ont pas tenu compte de la disponibilité et de la diversité limitées des VER (Eppstein et coll., 2011 ; Shafiei et coll., 2012). Gnann et ses collaborateurs (2015) ont récemment proposé pour l'Allemagne un exemple de modèle de prévision sophistiqué pour les VER basé sur les agents et qui tient compte de plusieurs aspects du modèle idéal décrit par Al-Alawi et Bradley (2013). Toutefois, les préférences des consommateurs sont principalement basées sur les coûts et les économies, ce qui diminue de façon intrinsèque le degré de réalisme des comportements des consommateurs.

En ce qui concerne les résultats des modèles, les prédictions de parts de marché des VER que comprend la littérature et qui ont été générées à l'aide de ces trois types de modèles s'avèrent de façon générale hautement sensibles aux politiques axées sur la demande, particulièrement aux subventions à l'achat et à la disponibilité accrue des points de recharge. À titre d'exemples, les subventions pour les VER de l'ordre de 5 000 \$ US (ou une réduction équivalente du prix d'achat en raison d'un prix de batterie réduit) font doubler, voire tripler, les prévisions de la demande de VER (Gnann et coll., 2015 ; Lopes et coll., 2014 ; Shafiei et coll., 2012), ou, dans un cas, font augmenter les ventes entre 1 % et 5 % en 2020 et jusqu'à 24 % en 2040 (Sullivan et coll., 2009). En revanche, Eppstein et ses collaborateurs (2011) ont estimé qu'un incitatif similaire aura peu d'effet s'il est mis en place pour une courte période (p.ex. moins de cinq ans). Une autre conclusion commune concerne la sensibilité des prévisions des parts de marché à l'accessibilité à des points de recharge : on constate qu'un déploiement agressif des infrastructures de recharge dans les endroits publics et à domicile fait doubler, voire tripler, le taux d'adoption des VER aux États-Unis de 2020 à 2025 (Lin et Greene, 2011). De tous les modèles qui ont été évalués, aucun n'étudie les effets des politiques axées sur l'offre (p. ex. une norme VZE, des subventions de R&D et une norme de carburant à faible teneur en carbone) sur les parts de marché des VER.

5. MODÈLE ÉCONOMÉTRIQUE REPAC (RESPONDENT-BASED PREFERENCE AND CONSTRAINTS)

Pour la méthodologie du modèle REPAC, veuillez consulter la version en Anglais du rapport de recherche.

6. SCÉNARIOS DE POLITIQUES

Nous nous sommes servis du modèle économétrique REPAC pour simuler à l'échelle du Canada les nouvelles parts de marché des VER ainsi que les émissions de GES de 2015 à 2030 selon trois scénarios de politiques :

1. Un scénario du maintien du statu quo (MSQ) qui comprend les politiques actuellement en vigueur ;
2. Un scénario de politiques « fortes » axées sur la demande auxquelles on ajoute un incitatif à l'achat de VER de 7 500 \$ à l'échelle du Canada pendant quatre ans (2018-2021) ainsi qu'un programme de déploiement ambitieux des infrastructures de recharge ;
3. Un scénario de norme VZE qui exige que les VER représentent 20 % des nouvelles parts de marché d'ici 2025 et 30 % d'ici 2030, en plus du maintien de toutes les politiques en place (MSQ), du déploiement ambitieux des infrastructures de recharge et d'un incitatif à l'achat de VER de 7 500 \$ pour une durée de deux ans (2018-2019).

Ces scénarios sont expliqués en détail ci-dessous.

6.1. Scénario no1 : Maintien du statu quo (politiques actuelles de soutien aux VER)

Comme il a été mentionné dans la section 3, nous avons dénombré dans le cadre d'un autre rapport un total de 60 politiques en vigueur qui soutiennent les VER au Canada, et 28 politiques supplémentaires à l'état de proposition (Axsen et coll., 2016b). Selon les résultats du cadre d'analyse de notre évaluation des VER au Canada, seulement une douzaine environ de ces politiques devraient avoir des effets significatifs sur les nouvelles parts de marché des VER d'ici 2030, c'est-à-dire une différence d'un pour cent ou plus. Au nom du principe de parcimonie, notre scénario MSQ ne représente explicitement qu'un sous-ensemble de ces politiques en vigueur. Les politiques qui constituent la base de référence du scénario MSQ sont décrites pour chaque région dans le Tableau 3, et nous en faisons la synthèse ci-dessous sous deux catégories, soit « axées sur la demande » et « axées sur l'offre » (selon les différences que nous avons établies à la section 3).

Les politiques axées sur la demande sont représentées comme suit dans le scénario MSQ :

- **Les incitatifs financiers pour les VER** sont représentés pour trois provinces, en place de 2015-2018 dans les trois cas et s'appliquent indifféremment aux VER dotés d'une autonomie de 120 km et aux VHR d'une autonomie de 64 km (les deux archétypes de VER que nous modélisons) :
 - Colombie-Britannique : 5 000 \$ par VER
 - Ontario : 10 000 \$ par VER
 - Québec : 8 000 \$ par VER

- **La tarification du carbone** comprend les politiques suivantes :
 - Le prix plancher du carbone proposé entre 10 \$ et 50 \$ la tonne pour l'ensemble du pays de 2018 à 2022, maintenu à 50 \$ la tonne jusqu'en 2030 et appliqué à toutes les provinces qui n'ont pas en place un prix du carbone. Cette valeur n'est pas ajustée pour tenir compte de l'inflation.
 - La taxe sur le carbone de la Colombie-Britannique établie à 30 \$ la tonne, jusqu'à ce que la structure tarifaire nationale pour le carbone devienne plus contraignante.
 - Le système de plafonnement et d'échange mis de l'avant par la Western Climate Initiative qui fait office d'une tarification du carbone en Ontario et au Québec. Le prix est estimé à 18 \$ la tonne en 2020 (Sawyer et coll., 2016) et demeure en vigueur jusqu'à ce que la structure tarifaire nationale pour le carbone devienne plus contraignante.
- **L'accès à des points de recharge** comprend l'accès à la recharge dont disposent les répondants à leur domicile, au travail et dans les lieux publics, parmi lesquels l'accès à domicile peut s'avérer un important déterminant de la demande de VER (Bailey et coll., 2015). Notre scénario MSQ utilise des données d'études recueillies en 2013 pour représenter l'accès aux points de recharge en 2015. Nous déterminons ensuite de façon approximative la modification de l'accès aux points de recharge en raison des changements aux codes du bâtiment déjà annoncés en Colombie-Britannique et en Ontario et, de façon plus générale, à cause de l'expansion des stations de recharge publiques partout au pays. En ce qui concerne les répondants qui n'ont pas accès à des points de recharge en 2015, nous supposons que cette contrainte sera éliminée à 50 % en Colombie-Britannique et en Ontario d'ici 2030, et à 20 % pour les répondants des autres provinces d'ici la même année.
- **L'accès aux voies réservées aux VMO** : la Colombie-Britannique, l'Ontario et le Québec ont toutes mis en place des politiques d'accès aux voies réservées aux véhicules multioccupants pour les VER, même si les effets de ces politiques sur les parts de marché des VER sont minimes, c'est-à-dire une variation de moins de 0,1 % des parts de marché des VER d'ici 2040 (Axsen et coll., 2016b). Nous simulons ces politiques en leur attribuant une valeur financière à l'aide d'une technique élaborée par Lin et Greene (2011), selon laquelle cette valeur prend la forme d'un avantage financier annuel duquel le répondant (ou l'acheteur de VER) bénéficie. La valeur est déterminée selon le coût économique de la congestion routière par province et la proportion de routes qui possèdent des voies réservées aux VMO. Cette valeur correspond à 11 \$ par véhicule par an en Colombie-Britannique, 35 \$ par véhicule par an en Ontario et 20 \$ par véhicule par an au Québec.

- **Autres incitatifs financiers** : l'écoprélèvement qui est actuellement en place constitue une politique plutôt faible et peu susceptible d'entraîner un effet notable dans nos scénarios de politiques, ce qui explique pourquoi nous avons omis de la représenter explicitement. De même, nous ne modélisons pas le programme Scrap-It de la Colombie-Britannique : nous prévoyons que son incidence sera limitée étant donné qu'il s'applique uniquement aux véhicules de l'année de modèle 2000 ou avant.

Les politiques axées sur la demande sont représentées comme suit dans le scénario MSQ :

- **Une norme pour les véhicules zéro-émissions (VZE)** exigeant que les véhicules zéro-émission représentent 15 % des ventes de véhicules neufs d'ici 2025 a été adoptée au Québec. Nous présumons que ce règlement sera en vigueur jusqu'en 2030 dans cette province et que les constructeurs automobiles respecteront cette norme VZE au Québec en augmentant la quantité de marques et de modèles de VER (VHR et VEB) parmi les différentes catégories de véhicules afin de satisfaire aux exigences de vente de 2025.
- **Le règlement fédéral sur les émissions de GES des véhicules légers** exige que les véhicules légers émettent en moyenne 5 % de moins d'émissions de GES par année de 2017 à 2025 dans le but d'atteindre des émissions de moins de 100 grammes d'équivalent CO₂ par kilomètre parcouru en 2025. Nous modélisons cette politique par une augmentation de l'adoption des véhicules hybrides électriques (VHE) et par la représentation d'une diminution exogène de l'intensité carbonique des émissions de GES (g éq.CO₂/km) des nouveaux véhicules alimentés à l'essence dans notre modèle. En effet, nous avons ignoré le fait que les normes actuelles d'émissions de GES des véhicules permettent d'obtenir des « crédits » de la vente de VER étant donné qu'ils n'émettent aucune émission d'échappement (0 g éq.CO₂/km), et puisqu'ils sont ensuite « multipliés », la vente d'un VER peut compter pour plus d'un véhicule dans le calcul des émissions moyennes. Une stratégie de modélisation de remplacement pourrait consister à modéliser le lien entre les ventes de VER, les stratégies de conformité des constructeurs automobiles et les normes d'émissions des véhicules, mais ce sujet dépasse la portée de la présente analyse.
- **Une norme de carburant à faible teneur en carbone (LCFS)** est en vigueur en Colombie-Britannique (le règlement sur les carburants renouvelables et à faible teneur en carbone) et exige de réduire de 10 % l'intensité en carbone des carburants d'ici 2020. Le gouvernement de la Colombie-Britannique a proposé de hausser cette exigence afin d'imposer une réduction de 15 % d'ici 2030. Bien que les tenants et les aboutissants de la norme canadienne sur les carburants propres récemment proposée ne seront pas connus avant plusieurs mois, nous présumons qu'elle sera similaire à celle établie en Colombie-Britannique. Une telle politique peut théoriquement générer des ventes de VER en raison des crédits que les services publics d'électricité (à faibles émissions de carbone)

peuvent accumuler si davantage de VER sont sur les routes, incitant ainsi les entreprises d'électricité à consacrer plus d'efforts au déploiement des VER. Nous représentons cette politique en tant qu'avantage financier annuel, comme si la valeur des crédits était transférée aux acheteurs de VER par les entreprises d'électricité sous forme de tarifs préférentiels d'électricité dans le déploiement d'infrastructures bénéfiques, selon la méthode élaborée par Yang (2014). Ce calcul ajoute un incitatif financier équivalent à 105 \$ par VER par an en Colombie-Britannique après 2016 et se base sur un prix de crédit de 100 \$ qui découle du règlement sur les carburants renouvelables et à faible teneur en carbone, dont le tiers de la valeur est affecté d'une façon ou d'une autre au bénéfice des propriétaires de VER. Cette valeur est moindre pour les provinces qui ont recours à des sources d'électricité à plus haute teneur en carbone (50 \$ à 100 \$ par VER par an).

Il est à noter que l'offre de véhicules (la variété et la disponibilité des marques et des modèles) augmente quelque peu avec le scénario MSQ dans le Tableau 3 pour trois raisons. Tout d'abord, la norme VZE du Québec entraîne une augmentation globale de la disponibilité des VER. Ensuite, pour certaines années de modèles initiales, nous avons ajouté quelques modèles de VER qui sont susceptibles d'être disponibles, entre autres la Chevrolet Bolt mise en vente au Canada en 2017. Enfin, avec la fonction du modèle REPAC qui concerne les concessionnaires automobiles, la disponibilité des VER vendus au Canada par les concessionnaires peut augmenter en tant que conséquence de l'augmentation des ventes de VER.

Tableau 3 : Politiques en vigueur du scénario de maintien du statu quo (MSQ)

POLITIQUES PAR PROVINCE	2015	2020	2025	2030
COLOMBIE-BRITANNIQUE				
Incitatifs financiers (\$/véhicule), jusqu'en 2018	5 000 \$	-	-	-
Incitatifs non-financiers (accès aux voies réservées aux VMO, équivalent en \$/VER/an)	-	11 \$	11 \$	11 \$
Taxe sur le carbone (nominale en \$ CA, \$/t éq.CO2)	30 \$	30 \$	50 \$	50 \$
Accès à des points de recharge (en proportion de la population avec une équivalence pour la recharge à domicile)	56 %	62 %	67 %	73 %
Norme de carburant à faible teneur en carbone (valeur équivalente en \$/VER/an)	-	105 \$	105 \$	105 \$
Disponibilité des véhicules (où une disponibilité de 100 % correspond à au moins 5 VER de chaque catégorie disponibles pour la vente pour chaque répondant)	38 %	45 %	45 %	45 %
ONTARIO				
Incitatifs financiers (\$/véhicule), jusqu'en 2018	10 000 \$	-	-	-
Incitatifs non-financiers (accès aux voies réservées aux VMO, équivalent en \$/VER/an)	35 \$	35 \$	35 \$	35 \$
Prix du carbone (nominal en \$ CA, \$/t éq.CO2)	-	18 \$	50 \$	50 \$
Accès à des points de recharge (en proportion de la population avec une équivalence pour la recharge à domicile)	63 %	69 %	75 %	80 %
Norme de carburant à faible teneur en carbone (valeur équivalente en \$/VER/an)	-	101 \$	99 \$	99 \$
Disponibilité des véhicules (où une disponibilité de 100 % correspond à au moins 5 VER de chaque catégorie disponibles pour la vente pour chaque répondant)	39 %	48 %	49 %	49 %
QUÉBEC				
Incitatifs financiers (\$/véhicule), jusqu'en 2018	8 000 \$	-	-	-
Incitatifs non-financiers (accès aux voies réservées aux VMO, équivalent en \$/VER/an)	20 \$	20 \$	20 \$	20 \$
Prix du carbone (nominal en \$ CA, \$/t éq.CO2)	-	18 \$	50 \$	50 \$
Accès à des points de recharge (en proportion de la population avec une équivalence pour la recharge à domicile)	63 %	65 %	67 %	69 %
Norme de carburant à faible teneur en carbone (valeur équivalente en \$/VER/an)	-	106 \$	106 \$	106 \$
Disponibilité des véhicules (où une disponibilité de 100 % correspond à au moins 5 VER de chaque catégorie disponibles pour la vente pour chaque répondant)	40 %	55 %	85 %	85 %
AUTRES PROVINCES				
Incitatifs financiers (\$/véhicule)	-	-	-	-
Incitatifs non-financiers (accès aux voies réservées aux VMO, équivalent en \$/VER/an)	-	-	-	-
Prix du carbone (nominal en \$ CA, \$/t éq.CO2)	-	30 \$	50 \$	50 \$
Accès à des points de recharge (en proportion de la population avec une équivalence pour la recharge à domicile)	66 %	68 %	70 %	71 %
Norme de carburant à faible teneur en carbone (valeur équivalente en \$/VER/an)	-	50-100 \$	77-100 \$	77-100 \$
Disponibilité des véhicules (où une disponibilité de 100 % correspond à au moins 5 VER de chaque catégorie disponibles pour la vente pour chaque répondant)	13 %	19 %	28 %	30 %

6.2. Scénario no 2 : Politiques fortes axées sur la demande

Le deuxième scénario ajoute au scénario MSQ un ensemble de politiques « fortes » axées sur la demande et se trouve présenté en détail dans le Tableau 4. Les politiques sont les suivantes :

- Une subvention nationale pour les VER similaire à celles instaurées en Ontario, au Québec et en Colombie-Britannique est représentée. Il s'agit d'un incitatif financier de 7 500 \$ par VER vendu au Canada en place pour quatre ans (de 2018 à 2021).
- L'accès aux voies réservées au VMO est élargi dans toutes les régions, lequel est modélisé en attribuant une valeur financière équivalente à l'accès aux voies réservées aux VMO aux provinces qui n'offrent pas un tel accès actuellement. Dans les faits, cela entraîne un changement mineur pour une seule région (l'Alberta, avec un avantage financier de 3 \$ par VER par an) en raison du faible coût de la congestion routière et du manque de voies réservées aux VMO dans les autres provinces.
- Un programme de déploiement agressif des infrastructures de recharge est modélisé par une augmentation linéaire de l'accès à des points de recharge à domicile, passant de 63 % des répondants qui ont accès à une station de recharge de niveau 1 en 2015 (selon l'estimation de l'enquête de 2013) à 95 % des répondants en 2030. Les 5 % restants correspondent aux répondants qui n'ont pas de stationnement désigné à la maison et qui se stationnent dans la rue. Étant donné que le modèle de choix discrets que nous utilisons ne fait pas de distinction entre la recharge à domicile, au travail et dans les lieux publics (comme il est décrit dans la section 5.2), nous avons déterminé par approximation le déploiement des infrastructures de recharge à domicile, au travail ou dans les lieux publics uniquement en tant qu'équivalent de l'accès à la recharge à domicile. Par exemple, une disponibilité élevée d'accès à des points de recharge au travail ou dans les lieux publics devrait être équivalente à un meilleur accès à la recharge à domicile.

6.3. Scénario de politiques no 3 : norme sur les véhicules zéro émission (VZE)

Notre dernier scénario de politiques représente une norme VZE, semblable à celles instaurées au Québec et en Californie. Toutefois, nous modélisons une norme VZE à l'échelle nationale qui serait plus contraignante en exigeant que les VER comptent pour au moins 7,5 % des ventes de véhicules neufs en 2020, pour 20 % en 2025 et pour 30 % d'ici 2030. Bien que les normes du Québec et de la Californie offrent la possibilité de se conformer grâce aux ventes de VER, de VEB et de véhicules à pile à hydrogène, nous modélisons dans le cas présent uniquement les ventes de véhicules hybrides rechargeables (VHR) et de véhicules électriques à batterie (VEB) (le modèle REPAC ne permet pas actuellement de modéliser les préférences et l'offre en matière de véhicules à pile à hydrogène).

Tableau 4 : Détails du scénario de politiques « fortes » axées sur la demande et du scénario de norme VZE instaurées à l'échelle nationale

POLITIQUES POUR TOUTES LES PROVINCES	2015	2020	2025	2030
SCÉNARIO NO 2 : POLITIQUES FORTES AXÉES SUR LA DEMANDE				
Incitatifs financiers (\$/VER)	7 500 \$ (à partir de 2018)	7 500 \$	-	-
Incitatifs non financiers (accès aux voies réservées aux VMO, équivalent en \$/VER/an) a	MSQ	MSQ	MSQ	MSQ
Prix du carbone (nominal en \$ CA, \$/t éq.CO2)	MSQ	MSQ	MSQ	MSQ
Accès à des points de recharge (en proportion de la population avec une équivalence pour la recharge à domicile), moyenne nationale	63 %	74 %	84 %	95 %
Norme de carburant à faible teneur en carbone (valeur équivalente en \$/VER/an)	MSQ	MSQ	MSQ	MSQ
Disponibilité des véhicules (où une disponibilité de 100 % correspond à au moins 5 VER de chaque catégorie disponibles pour la vente pour chaque répondant), moyenne nationale	26 %	41 %	51 %	51 %
SCÉNARIO NO 3 : NORME VZE				
Incitatifs financiers (\$/VER)	7 500 \$ (début en 2018, prend fin en 2019)	-	-	-
Incitatifs non financiers (équivalent en \$/VER/an)	MSQ	MSQ	MSQ	MSQ
Taxe sur le carbone (\$/t éq.CO2)	MSQ	MSQ	MSQ	MSQ
Accès à des points de recharge (en proportion de la population avec une équivalence pour la recharge à domicile), moyenne nationale	63 %	74 %	84 %	95 %
Norme de carburant à faible teneur en carbone (valeur équivalente en \$/VER/an)	MSQ	MSQ	MSQ	MSQ
Disponibilité des véhicules (où une disponibilité de 100 % correspond à au moins 5 VER de chaque catégorie disponibles pour la vente pour chaque répondant), moyenne nationale	26 %	45 %	82 %	97 %
Interfinancement interne pour les constructeurs automobiles : prime moyenne pour les véhicules non électriques ^a	-	520 \$	600 \$	1 300 \$
Interfinancement interne pour les constructeurs automobiles : subvention pour les VERa	-	6 380 \$	2 400 \$	3 000 \$
Interfinancement interne pour les constructeurs automobiles : variation nette des coûts initiaux des VER ^a	-	6 900 \$	3 000 \$	4 300 \$

a. Le recours à l'interfinancement interne par les constructeurs automobiles est fourni à titre d'exemple et mentionné ici seulement pour les conditions « pessimistes » de la fourchette d'incertitude des politiques. La portée de l'interfinancement serait moindre dans les conditions médianes ou optimistes.

Ce scénario de norme VZE comprend toutes les politiques du scénario MSQ (scénario no 1) et le même programme ambitieux de déploiement des infrastructures de recharge de VER inclus dans le scénario no 2. Nous modélisons également un incitatif à l'achat semblable à celui compris dans le scénario no 2, soit 7 500 \$ par VER, mais qui serait en vigueur pendant deux ans seulement (2018-2019) au lieu de quatre ans. Nous incluons cet incitatif d'une durée de deux ans en quelque sorte comme un soutien de départ que le gouvernement fédéral pourrait offrir aux constructeurs automobiles pour les premières années de conformité. Toutefois, cet incitatif prend fin en 2019, ce qui signifie que les constructeurs automobiles devront alors accomplir eux-mêmes le « travail » pour satisfaire à la norme VZE.

Nous présumons que les constructeurs automobiles optent de se conformer aux exigences de la norme VZE plutôt que de s’y opposer (p. ex. en cour) ou de ne pas s’y conformer (p. ex. en payant des pénalités). Nous spécifions de manière exogène deux mécanismes de conformité. Tout d’abord, nous modélisons une variété et une disponibilité accrues des VER de façon à ce que, d’ici 2030, la contrainte de disponibilité devienne essentiellement non-contraindante pour tous les répondants du modèle REPAC. Ainsi, d’ici 2030, tous les acheteurs canadiens de voitures inclus dans notre modèle (qui possèdent les connaissances sur les VER et ont accès à des points de recharge) qui souhaitent acheter une version VHR ou VEB de leur modèle de référence sont en mesure de le faire. Un allègement de cette contrainte liée à l’offre dans le modèle REPAC nécessite que tous les concessionnaires automobiles au Canada possèdent 60 modèles de VER totalement disponibles et répartis également parmi les quatre catégories de véhicules. À titre de point de référence, Lutsey et ses collaborateurs (2015) ont déterminé qu’en 2014, les villes des États-Unis où une norme VZE est en vigueur ont réalisé d’importants volumes de ventes pour 16 à 22 modèles différents de VER, comparativement aux autres villes où seulement 4 à 14 modèles ont fait l’objet d’importants volumes de ventes. Nous sommes d’avis qu’il est raisonnable de présumer qu’en présence de signaux politiques assez forts, les constructeurs automobiles pourraient orienter leurs activités d’innovation afin mettre au point, commercialiser activement et vendre au moins 60 modèles de VER au Canada d’ici 2030. En 2016, on retrouve au Canada 10 modèles de VER qui sont vendus de façon active (excluant les VER de luxe).

Le deuxième mécanisme permettant de se conformer à la norme VZE est le recours à l’interfinancement interne. Nous présumons que les constructeurs automobiles modifieront les prix des véhicules de leur parc automobile afin d’augmenter les ventes de VER comme l’exige la norme. Cette stratégie s’apparente sensiblement à une mesure de taxation avec remise (« feebate ») — même si elle s’effectue à l’insu de l’acheteur — puisque les VER sont vendus à des prix plus bas qu’ils ne le seraient normalement et les véhicules non électriques sont vendus à des prix plus élevés. Globalement, un tel interfinancement n’a aucune incidence sur les recettes des constructeurs automobiles. Le Tableau 10 résume les mesures d’interfinancement interne qui seraient nécessaires pour se conformer à une norme VZE selon le scénario « pessimiste » (incluant un faible prix du pétrole et des coûts de batterie élevés), y compris les subventions que les constructeurs automobiles verseraient en moyennes pour chaque VER vendu, les primes perçues pour les véhicules non électriques vendus et la différence qui résulte de l’écart de prix entre les VER et les véhicules non électriques. Par exemple, en 2025, la subvention moyenne pour les VER serait de 2 400 \$ et le coût moyen d’un véhicule non électrique serait augmenté de 600 \$ afin que l’interfinancement n’ait pas d’incidence sur les recettes des constructeurs automobiles. Cette prime applicable aux véhicules non électriques augmenterait au cours des années subséquentes (p. ex. en 2030)

étant donné que les VER compteront pour une plus grande part du marché total de véhicules (ce qui signifie que les primes seront partagées entre moins de véhicules non électriques).

Cette transition entre les subventions fournies par le gouvernement (qui prendront fin en 2019) et celles fournies par les constructeurs automobiles (à partir de 2020 et au-delà) constitue une façon parmi d'autres de concevoir une norme VZE et de s'y conformer. Un gouvernement pourrait concevoir une subvention à l'achat qui serait en vigueur moins longtemps (p. ex. qui prendrait fin en 2018) ou plus longtemps (p. ex. qui prendrait fin en 2025). Le principe est que si cette norme VZE est respectée, les constructeurs automobiles auront besoin de recourir à l'interfinancement pour combler l'écart entre les effets des autres stratégies et politiques qui favorisent la demande de VER (p. ex. les incitatifs non financiers et la disponibilité accrue de VER) et les exigences de ventes de VER. Dans cet exemple, l'interfinancement interne devrait être entrepris en 2020.

6.4. Limites des scénarios de politiques et du modèle économétrique REPAC

Étant donné que le modèle économétrique REPAC comporte des contraintes pour les répondants individuels, nous évitons, en quelque sorte, le « double-comptage » des effets des politiques lorsque nous simulons plusieurs politiques. En d'autres termes, si des répondants ne sont soumis à aucune contrainte pour l'achat d'un VER, les politiques qui éliminent davantage les contraintes ne feront pas augmenter leur demande. Le modèle REPAC peut également représenter les synergies entre les politiques : par exemple, si une politique élimine certaines contraintes, une probabilité non nulle d'acheter un VER s'applique à davantage de répondants et le modèle devient plus sensible aux variations de prix d'achat (p.ex. une subvention devient alors plus efficace).

Toutefois, nos représentations des politiques comportent plusieurs limites, particulièrement en ce qui concerne les politiques axées sur l'offre qui sont, par nature, difficiles à modéliser. Nous ne modélisons pas directement les normes canadiennes sur les émissions, une norme de carburant à faible teneur en carbone ou une norme VZE : nous déterminons par approximation chacune d'elles à l'aide d'une ou de plusieurs hypothèses exogènes. De plus, certaines dynamiques et interactions potentiellement importantes entre les politiques ne sont pas modélisées dans le présent rapport, notamment :

- La norme d'émissions des véhicules : telles qu'elles sont conçues en ce moment, les exigences de 2025 des normes pour les véhicules classiques deviendront plus souples si les ventes de VER augmentent. En d'autres termes, si les parts de marché des VER deviennent importantes, notamment grâce à une norme VZE, les constructeurs automobiles pourront possiblement vendre davantage de véhicules classiques à émissions élevées qu'il ne leur serait possible de faire si moins de VER étaient vendus.

- Une norme de carburant à faible teneur en carbone (LCFS) : si les VER détiennent des parts de marché importantes d'ici 2030, alors les exigences modérées de la LCFS pour 2020 et 2030 pourraient facilement être respectées (qui visent respectivement une réduction de 10 % et 15 % de l'intensité des émissions de carbone), et la LCFS n'aurait pas d'effet « cumulatif » sur une norme VZE, par exemple. Nous ne modélisons pas cette possibilité actuellement.
- Une norme VZE : comme nous l'avons souligné plus haut, nous modélisons seulement un exemple de conception d'une norme VZE en termes d'échéancier des exigences de ventes même si plusieurs variantes sont possibles. De plus, les décideurs politiques pourraient choisir d'offrir une subvention à l'achat de VER à l'échelle nationale durant une période plus ou moins courte comparativement à celle que nous modélisons dans le cas présent. Finalement, les constructeurs automobiles pourraient se conformer grâce à divers moyens, notamment différentes combinaisons d'une disponibilité accrue de VER et d'un niveau plus ou moins élevé d'interfinancement interne entre les prix. Le scénario que nous modélisons se veut représentatif d'un type de conception d'une norme VZE et d'une stratégie de conformité d'un constructeur automobile.

Cela dit, les scénarios de politiques que nous étudions à l'aide du modèle REPAC fourniront tout de même des indications sur les types de politiques et la rigueur nécessaires pour que les VER détiennent des parts de marché importantes au Canada d'ici 2030.

7. RÉSULTATS

Dans cette section, nous expliquons tout d’abord comment les trois contraintes représentées dans le modèle basé sur les contraintes influencent les parts de marché simulées (c.-à-d. une demande limitée) au Canada en 2015 (section 7.1). Dans la section 7.2 nous examinons la sensibilité du modèle aux paramètres clés tels que la disponibilité des véhicules chez les concessionnaires et les coûts de carburant. Nous examinons ensuite les résultats des scénarios de politiques simulés, y compris les effets sur les parts de marché (section 7.3) ainsi que sur l’énergie et les émissions de GES (section 7.4).

7.1. Effets des contraintes sur les parts de marché

La Figure 2 illustre les effets individuels et combinés des trois catégories de contraintes appliquées au modèle REPAC pour l’année 2015 : l’accès un point de recharge à domicile, la connaissance des véhicules électriques rechargeables et leur disponibilité. La demande sans contrainte (UD) pour les VER en 2015 représente 15 % des nouvelles parts de marché. Si l’on applique uniquement la contrainte liée à la recharge à domicile (HC) (où 64 % des répondants disposent d’un accès fiable à la recharge à domicile), la demande de VER diminue à 10 %. Si l’on applique uniquement la contrainte liée à la connaissance de VER (PF) (avec 24 % des répondants qui connaissaient les VER avant de répondre à l’enquête), les parts de marché des VER diminuent pour se situer à un peu moins de 5 %. Si l’on applique uniquement la contrainte de disponibilité des VER (PA), les parts de marchés diminuent à un peu plus de 5 %. L’application des trois contraintes simultanément entraîne une demande limitée (CD) de 1 % en 2015, ce qui est grandement similaire à la part de marché réelle des véhicules électriques rechargeables pour la même année au Canada.

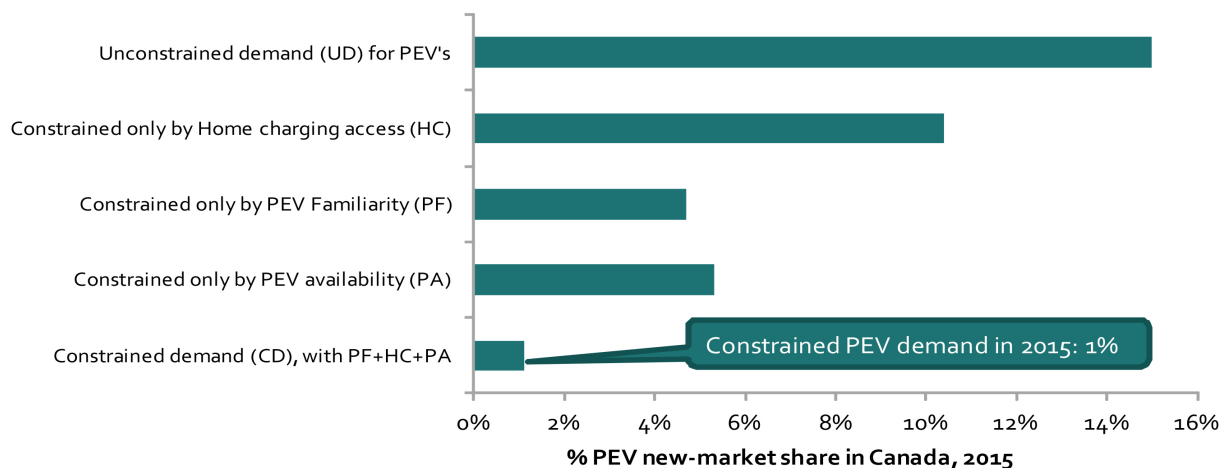


Figure 2 : Effets des contraintes du modèle REPAC sur les nouvelles parts de marché des VER au Canada, 2015

7.2. Analyse de la sensibilité des résultats du scénario de référence

Bien que nous n'ayons pas procédé à une analyse complète de la sensibilité de la version du modèle REPAC qui s'applique à l'échelle du Canada, nous démontrons la sensibilité du modèle en reproduisant l'analyse effectuée précédemment à l'aide du modèle REPAC adapté à la Colombie-Britannique seulement (Wolinetz et Axsen, sous presse). Le modèle qui s'applique à l'échelle nationale est largement similaire, c'est pourquoi les sensibilités qui sont déterminées ici sont pertinentes.

Nous avons procédé à une analyse de la sensibilité du modèle REPAC adapté à la Colombie-Britannique à l'aide d'un scénario de référence « sans politique » afin d'examiner comment une variation de neuf hypothèses de paramètres influence la demande de VER en 2030 sans aucune politique visant à favoriser leur adoption. Nous avons effectué les tests sur une hypothèse à la fois. Nous avons testé les effets d'une variation de plus ou moins 25 % des hypothèses de valeurs pour les paramètres suivants :

- Le taux auquel le niveau de **connaissance des VER** augmente (+/- 25 % de la constante b du taux d'augmentation de la connaissance des VER [PF] de l'équation 5), ce qui a un effet sur le rythme d'augmentation du niveau de connaissance des répondants en ce qui concerne les VER à mesure que les parts de marché des VER augmentent ;
- **La disponibilité et la variété des VER** (+/- 25 % de la constante c de la contrainte liée à la disponibilité [PA_{i,j,k}] de l'équation 6 [qui va de 0,53 à 0,87]), ce qui a un effet sur la vitesse à laquelle la contrainte PA devient non contraignante à mesure que la variété des VER augmente ;
- **L'augmentation endogène de la disponibilité des véhicules chez les concessionnaires** (+/- 25 % de la constante r du taux de variation de la disponibilité [d_{i,j,k,l,t}] de l'équation 8).

En ce qui concerne les autres paramètres, nous avons testé les effets d'estimations des paramètres « élevées » et « faibles » à partir des données ou de la littérature de la façon suivante :

- Nous avons fait varier l'**accès à la recharge à domicile (HC)** en fonction des données sur les acheteurs issues du rapport sur l'adoption des véhicules électriques rechargeables au Canada (Canadian Plug-in Electric Vehicle Survey ou CEPVS). Une contrainte liée à un accès qualifié de « faible » est plus conservatrice puisqu'elle considère que les répondants ont un accès seulement s'ils ont affirmé qu'un poste de recharge est situé dans un rayon de 15 pieds du stationnement à domicile de leur VER plutôt que du rayon de 25 pieds de notre hypothèse de base. La contrainte liée à l'accès « élevé » est la plus permissive puisqu'elle accorde un accès à la recharge à domicile à tous les répondants qui affirment

qu'ils utiliseraient le poste de recharge situé le plus près de l'endroit où ils stationneraient leur VER (indépendamment de la distance déclarée avec leur stationnement à domicile).

- En ce qui concerne l'évolution des prix d'achat des VER, nous varions le taux exogène de la diminution de coût à partir d'un barème de prix « faibles » établi selon un taux annuel de décroissance des coûts de batterie de 14 % dont la valeur plancher est de 100 \$ CA/kWh jusqu'à un barème de prix « élevés » établi selon un taux annuel de décroissance de 6 % dont la valeur plancher est de 180 \$ CA/kWh, soit les estimations des taux élevés et faibles des coûts de batterie établies par Nykvist et Nilsson (2015). En effet, l'évolution de coûts des VER va de -42 % à +38 % de la valeur de base en 2030.
- Nous faisons varier la courbe du prix de l'essence à partir d'un prix « faible » de 0,95 \$ CA/L en 2030 jusqu'à un prix « élevé » de 1,78 \$ CA/L, ce qui correspond à des scénarios de prix du baril de pétrole à 60 \$ US et 200 \$ US (U.S. Energy Information Agency, 2015), ou de -14 % à +60 % de notre prix de l'essence hypothétique de référence.
- Nous faisons varier la courbe du prix de l'électricité à partir d'un prix « faible » de 9,5 cents/kWh (CA) d'ici 2030 jusqu'à une courbe de prix « élevé » de 11,7 cents/kWh.
- Nous avons également évalué les effets de l'autonomie en mode électrique à l'aide de VHR dont l'autonomie en mode électrique est de 16 km (plutôt que 64 km) ainsi que les effets qui découlent de l'utilisation de VEB qui ont une autonomie de 80 km ou 160 km (plutôt que 120 km), et nous avons ajusté l'évolution des prix des véhicules en conséquence.

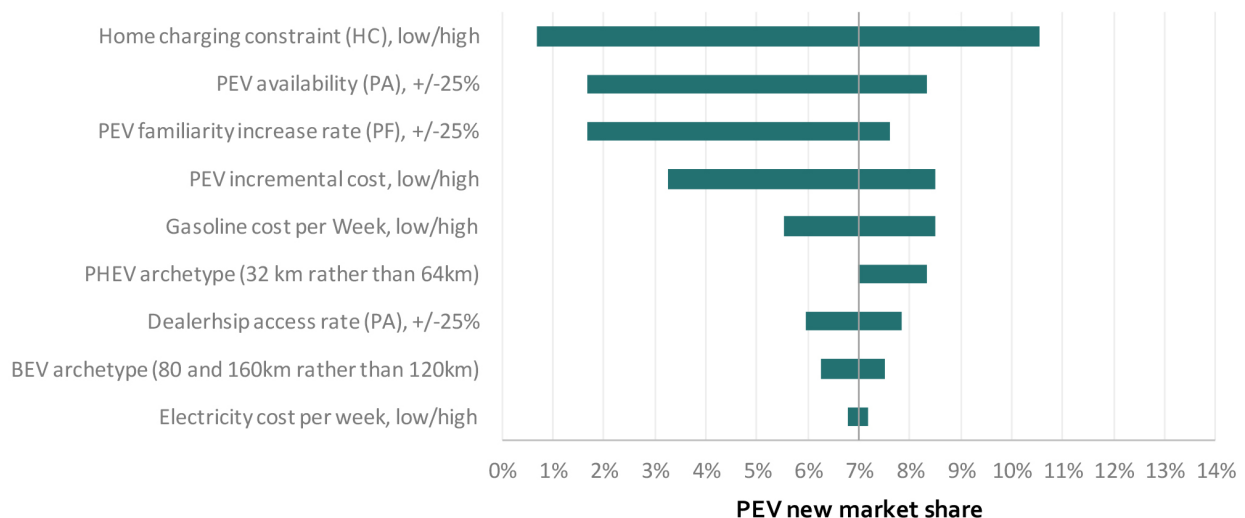


Figure 3 : Analyse de la sensibilité des prévisions des nouvelles parts de marché des VER en 2030 générées à l'aide du modèle REPAC adapté à la Colombie-Britannique seulement, Source : Wolinetz et Axsen (sous presse)

La Figure 3 illustre la sensibilité de la prévision des parts de marché des VER en Colombie-Britannique en 2030 en l'absence de politique. Les chiffres démontrent la variation de la demande limitée, soit 7 % de nouvelles ventes dans le cas présent, qui découle des changements apportés à chaque paramètre, les variations étant énumérées des plus importantes aux plus faibles. Parmi les variations testées, les résultats de l'étude REPAC se révèlent plus sensibles aux changements qui concernent l'accès à la recharge à domicile, la disponibilité et la variété des VER, le taux selon lequel le niveau de connaissance des VER augmente et l'évolution des prix d'achat des VER. Les simulations effectuées à l'aide du modèle REPAC sont quant à elles relativement moins sensibles aux variations du prix de l'électricité et de l'essence ainsi que de l'autonomie en mode électrique (ce qui comprend les changements associés au coût initial). En général, une variation des paramètres individuels induit une variation asymétrique des ventes de VER d'ici 2030 : le modèle est plus sensible aux impacts négatifs sur les ventes de VER étant donné que les effets négatifs inhibent davantage une augmentation endogène des ventes de VER.

7.3. Effets des scénarios de politiques sur les parts de marché des VER

La Figure 4 illustre la courbe modélisée des nouvelles parts de marché des VER selon chacun des trois scénarios de politiques pour les années 2015 à 2030. Les parties ombragées représentent l'incertitude des prévisions qui découle de la variation de quatre paramètres définis dans l'analyse de sensibilité (adapté à la Colombie-Britannique)² : le taux d'augmentation du degré de connaissance des VER, la mesure selon laquelle la disponibilité des VER limite les ventes, l'évolution du coût des VER et le prix de l'essence. La limite inférieure de chaque zone ombragée est déterminée par les valeurs les plus « pessimistes » utilisées pour chacun de ces paramètres dans l'analyse de sensibilité (un apprentissage plus lent, un plus grand besoin de variété de VER de la part des consommateurs, des coûts de VER plus élevés et un prix de l'essence plus bas), alors que la limite supérieure est déterminée par les valeurs opposées. Nous présentons nos résultats selon ces fourchettes d'incertitude.

2. Ces paramètres sont à la fois incertains et engendrent la plus grande sensibilité des résultats du modèle adapté à la Colombie-Britannique. Bien que la contrainte d'accès à la recharge à domicile influence fortement les résultats, nous l'avons exclue de la fourchette d'incertitude étant donné que son degré d'incertitude n'est pas très élevé.

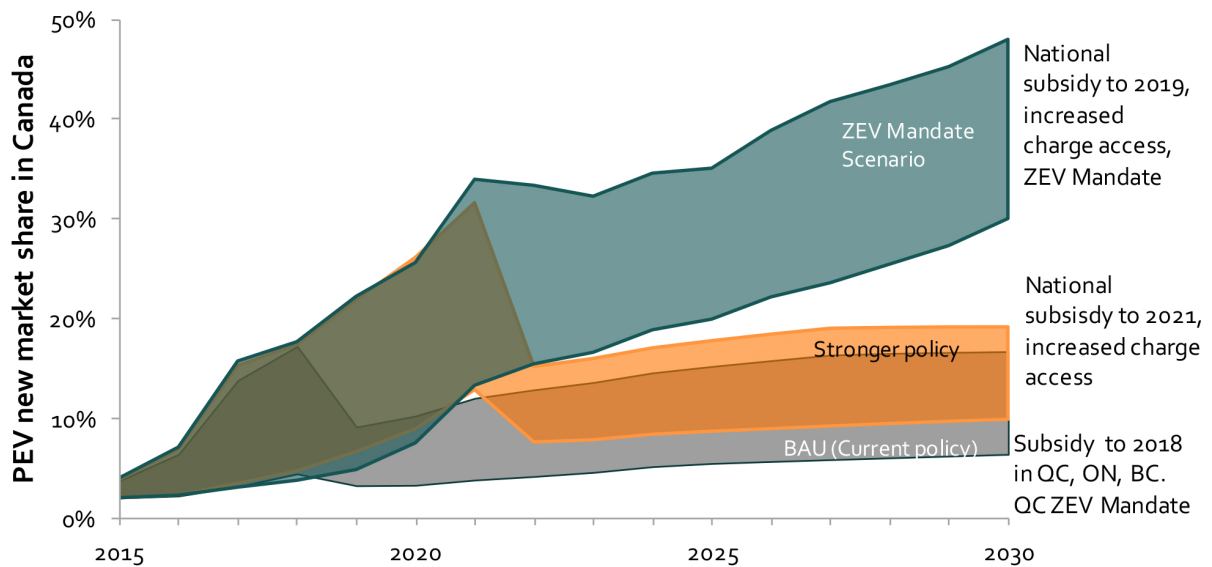


Figure 4 : Nouvelles parts de marché des VER selon les scénarios de politiques (les zones ombragées représentent l’incertitude en ce qui concerne la contrainte liée à la connaissance des VER, la contrainte de disponibilité des VER, le prix de l’essence et le prix d’achat des VER)

Selon le scénario MSQ avec les politiques actuelles en vigueur, nous constatons que les nouvelles parts de marché des VER culminent entre 4 % et 17 % en 2018. Lorsque les incitatifs financiers en Ontario, au Québec et en Colombie-Britannique sont retirés en 2019, les nouvelles parts de marché chutent entre 3 % et 9 % pour augmenter lentement jusqu’à 6 % à 17 % en 2030. Il est important de souligner que la durée des incitatifs financiers qui sont en place en Ontario, au Québec et en Colombie-Britannique n’est pas clairement déterminée ; l’octroi de fonds pour chacune de ces mesures annoncé récemment sera possiblement prolongé, bien que de telles subventions peuvent être renouvelées à plusieurs reprises.

Le scénario de politiques « fortes » axées sur la demande avec une offre limitée de VER ajoute plusieurs politiques au scénario MSQ, y compris un incitatif de 7 500 \$ par VER offert à l’échelle du Canada de 2018 à 2021. De plus, les infrastructures de recharge sont augmentées de façon significative avec le temps, et l’accès à des voies réservées au VMO est accordé aux propriétaires de VER partout au pays. En vertu de ce scénario, les nouvelles parts de marché des VER continuent de croître au-delà de 2018 pour atteindre 13-32 % d’ici 2021, seulement pour redescendre à 4-13 % en 2022 lorsque la subvention prend fin. Les nouvelles parts de marché des VER en 2030 sont légèrement supérieures au scénario MSQ et se situent à 10- 20 %. En somme, ce scénario démontre qu’en l’absence d’une norme VZE (ou d’une

politique de force similaire axée sur l'offre), les ventes de VER dépendront fortement de la présence de cette subvention à l'achat.

Le scénario de norme VZE ajoute une augmentation progressive de la variété et de la disponibilité des modèles de VER pour atteindre une « offre complète » en 2030, c'est-à-dire que la disponibilité et la variété des VER sont presque égales à celles des véhicules classiques pour toutes les catégories de véhicules. Nous avons également modélisé une augmentation de la disponibilité des infrastructures de recharge comme dans le scénario précédent, de même qu'un incitatif financier à l'échelle nationale similaire de 7 500 \$ par VER, mais uniquement pour une période de deux ans (2018-2019). Si l'on présume que les constructeurs automobiles se conforment aux exigences de la norme VZE (7,5 % de nouvelles parts de marché d'ici 2020, 20 % d'ici 2025 et 30 % d'ici 2030), nous spécifions de manière exogène l'interfinancement interne que les constructeurs mettraient en œuvre pour accroître leurs nouvelles parts de marché de ventes de VER à 7-26 % d'ici 2020 et jusqu'à 30-48 % d'ici 2030. Il est à noter que nous adoptons une approche conservatrice, où le respect de la norme par les constructeurs automobiles ne s'effectue que selon les hypothèses les plus pessimistes (un prix du pétrole faible et des coûts de batterie élevés), ce qui assure que les ventes atteignent minimalement les niveaux requis pour chaque année de conformité. Selon les conditions les plus optimistes, les constructeurs automobiles n'auraient pas besoin de prendre autant de mesures pour se conformer (p.ex., une augmentation moindre de la disponibilité ou moins d'interfinancement interne).

La Figure 5 illustre les parts totales de marché des VER, c'est-à-dire tous les véhicules de passagers sur la route et non seulement les nouvelles ventes. Cette figure tient compte des taux de renouvellement des stocks de véhicules de passagers au Canada et, par conséquent, prend plus de temps à changer. En vertu du scénario MSQ, la part de marché totale des VER compte pour 5-15 % des véhicules de passagers en 2030. Selon le scénario de politiques « fortes » axées sur la demande, la part totale de marché des VER continue de croître jusqu'en 2030 pour compter entre 9-19 % de tous les véhicules légers. Avec le scénario de norme VZE, la part totale de marché des VER atteint 19-37 % en 2030.

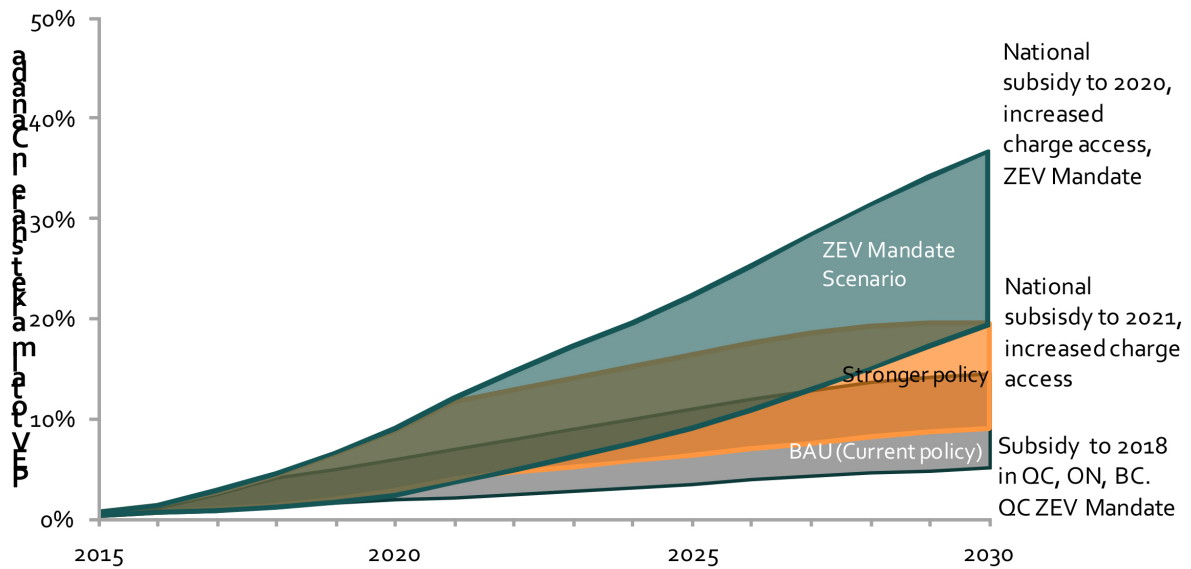


Figure 5 : Parts totales de marché des VER selon les scénarios de politiques (les zones ombragées représentent l’incertitude en ce qui concerne la contrainte liée à la connaissance des VER, la contrainte de disponibilité des VER, le prix de l’essence et le prix d’achat des VER)

7.4. Effets des scénarios de politiques sur la consommation énergétique et les émissions de GES des véhicules de passagers

La section 5.6 expose en détail les hypothèses sur lesquelles se fonde le calcul des émissions « du puits à la roue » (well-to-wheel ou WTW) pour les scénarios de politiques de soutien aux VER. Actuellement, les émissions de GES « du puits à la roue » qui proviennent des véhicules légers au Canada sont de 93 Mt éq.CO₂ par an. De ces émissions, 70 Mt éq. CO₂ sont des émissions directes qui proviennent de la combustion d’essence des véhicules, et les 23 Mt éq. CO₂ par an restants proviennent de la production d’énergie du carburant utilisé pour le transport. Les émissions du puits à la roue sont calculées en présumant une intensité carbonique en amont de 20 g/MJ pour l’essence (pour un total d’intensité carbonique du puits à la roue de 90 g/MJ), 50 g/MJ pour l’éthanol, et les intensités carboniques associées à la production de l’électricité pour chaque province sont énumérées à la section 5.6.

La Figure 6 présente nos prévisions d’émissions du puits à la roue des véhicules légers pour deux de nos scénarios de politiques : le scénario MSQ (scénario 1) et le scénario de norme VZE (scénario 3). Nous avons omis le scénario 2 étant donné que les effets sur les émissions en 2030 sont largement similaires à ceux du scénario MSQ. Les émissions totales de GES du puits à la roue sont tributaires du parc automobile dans son ensemble et subissent ainsi l’incidence de l’inertie du renouvellement des stocks illustré à la Figure 5, ainsi que de la

composition du parc de VER : pour les trois simulations de politiques, plus de la moitié des véhicules électriques qui sont adoptés sont des VHR, dont nous présumons la consommation d'essence à environ 37 % de tous les kilomètres parcourus (un « facteur d'utilité » de ~63 %).

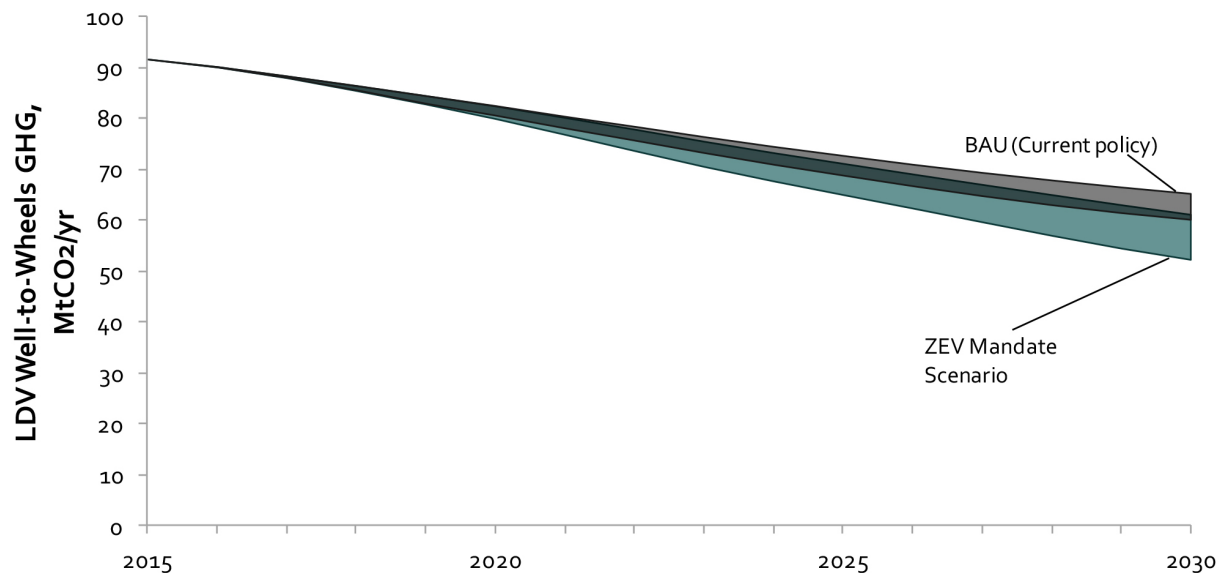


Figure 6 : Émissions de GES directes des véhicules légers (les zones ombragées représentent l'incertitude en ce qui concerne la contrainte liée à la connaissance des VER, la contrainte de disponibilité des VER, le prix de l'essence et le prix d'achat des VER). Seuls les scénarios MSQ et de norme VZE sont présentés

Avec les politiques actuellement en vigueur (MSQ), en particulier la norme nationale d'émissions de GES des véhicules, les émissions totales de GES diminuent jusqu'en 2025 (lorsque la norme prend fin) et continuent de diminuer jusqu'en 2030 à mesure que les inventaires de nouveaux véhicules éconergétiques augmentent. En outre, nous avons présumé qu'en présence d'une norme canadienne sur les carburants propres, d'ici 2030, tous les carburants liquides contiendront 10 % de biocarburant, ce qui réduira l'intensité carbonique du puits à la roue des carburants liquides de 5 % par rapport à 2016. En 2030, en vertu du scénario MSQ, les émissions se situent entre 60 et 65 Mt/an, ce qui représente une diminution d'environ 30-35 % des émissions actuelles. En ce qui concerne les politiques « fortes » axées sur la demande, les émissions chutent à 58-64 Mt/an en 2030, soit 31-38 % de moins que les émissions actuelles (non présenté à la Figure 6). Selon le scénario de politiques qui concerne la norme VZE, les émissions annuelles tombent à 52-61 Mt/an en 2030, soit une diminution de 34-44 % des émissions actuelles. En d'autres termes, le scénario de politiques de la norme VZE réduit les émissions de GES du puits à la roue en 2030 de 6-13 % par rapport au scénario MSQ.

Il convient de noter, toutefois, que puisque le renouvellement du parc automobile s’effectue lentement, les réductions d’émissions en 2030 ne dressent pas un panorama complet de réductions de GES. Si l’on tient compte uniquement des véhicules neufs vendus en 2030, le scénario de norme VZE réduirait l’intensité des émissions de GES de ces véhicules de 12-22 % cette année-là par rapport au scénario MSQ. Une diminution supplémentaire des émissions du puits à la roue est possible grâce à des politiques complémentaires qui visent à « décarboniser » davantage la production d’électricité, exigent de consommer davantage de carburants renouvelables à faible teneur en carbone et contribuent à réduire les émissions en amont associées à la consommation de carburant. En effet, une analyse à long terme serait plus appropriée pour examiner en profondeur les effets des politiques de soutien aux VER sur les émissions de GES en procédant idéalement à une modélisation pour le secteur des transports, celui des carburants et celui de l’électricité jusqu’en 2040 ou 2050. Une analyse sur une période aussi prolongée permettrait de tenir compte du décalage dans le renouvellement des stocks pour chacun des secteurs, des complémentarités entre la décarbonisation de l’électricité et la mobilité électrique et de l’évolution potentielle des préférences des consommateurs envers les véhicules électriques, par exemple les VEB ou les VHR.

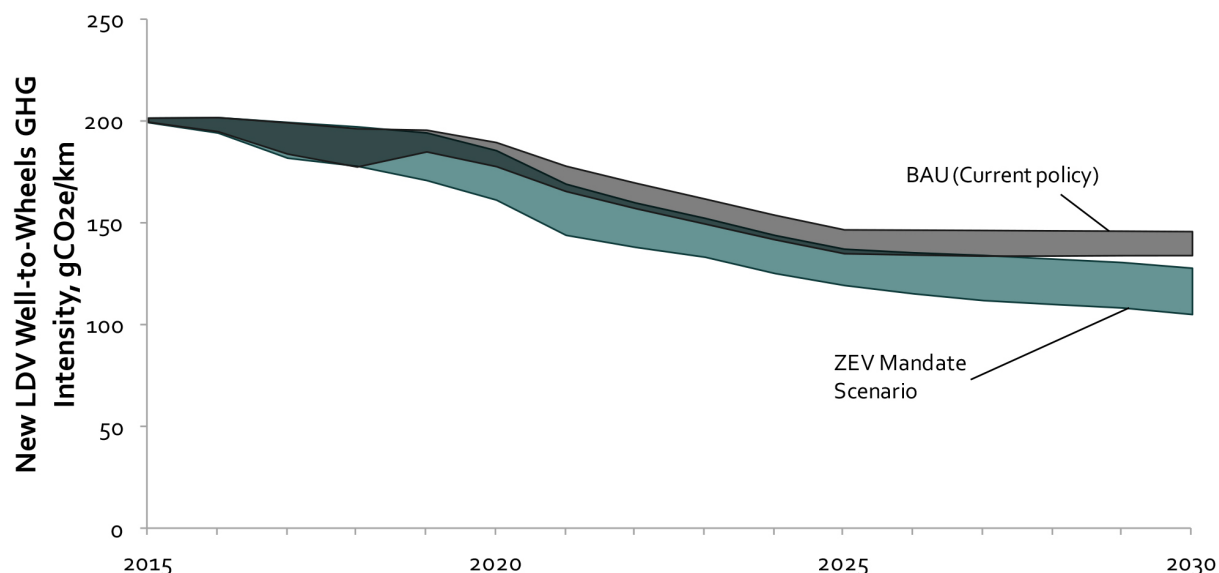


Figure 7 : Intensité des émissions des GES du puits à la roue des véhicules légers neufs (g éq.CO2/km), seuls les scénarios 1 et 3 sont présentés

Le Tableau 5 et le Tableau 12 montrent les quantités d'essence et d'électricité consommées par les véhicules légers pour chacun des scénarios. La quantité d'essence est à la source des émissions d'échappement de GES, toujours selon notre hypothèse que les carburants contiendront 10 % de biocarburant et qu'il n'y aura pas d'émissions d'échappement nettes d'ici 2030. Tant la consommation d'essence que d'électricité contribuent à la portion en amont des émissions de GES du puits à la roue.

Tableau 5 : Consommation du mélange d'essence des véhicules légers, PJ/an

		2015	2020	2025	2030
Politiques actuelles (MSQ)	Faible taux d'adoption des VER	1043	955	845	758
	Taux élevé d'adoption des VER	1043	933	798	695
Politiques « fortes » axées sur la demande	Faible taux d'adoption des VER	1043	953	834	741
	Taux élevé d'adoption des VER	1043	926	771	668
Scénario de norme VZE	Faible taux d'adoption des VER	1043	955	827	708
	Taux élevé d'adoption des VER	1043	925	750	598

Tableau 12 : Consommation d'électricité des véhicules légers, PJ/an

		2015	2020	2025	2030
Politiques actuelles (MSQ)	Faible taux d'adoption des VER	0	2	5	8
	Taux élevé d'adoption des VER	0	7	16	24
Politiques « fortes » axées sur la demande	Faible taux d'adoption des VER	0	3	9	14
	Taux élevé d'adoption des VER	0	9	23	33
Scénario de norme VZE	Faible taux d'adoption des VER	0	2	11	27
	Taux élevé d'adoption des VER	0	9	30	59

Remarque : Puisqu'on dénombre actuellement environ 20 000 VER sur les routes au Canada, la consommation d'électricité actuelle des VER n'est pas de 0. Toutefois, elle n'a pas une valeur significative étant donné l'absence de décimales indiquées.

8. ANALYSE DES RÉSULTATS

Afin d'orienter le Cadre pancanadien en matière de croissance propre et de changement climatique du gouvernement du Canada, ce rapport modélise les effets de différentes politiques de soutien aux VER sur les ventes de véhicules de passagers électriques rechargeables au Canada à l'aide du modèle économétrique REPAC (REspondent-based Preference and Constraints).

Un point de comparaison avec la littérature antérieure est notre scénario de référence ou notre simulation « maintien du statu quo » (MSQ), selon lequel le modèle REPAC simule les nouvelles parts de marché des VER à 3-9 % en 2020. Les résultats de nos simulations de 2020 sont similaires à ceux de quelques autres études effectuées pour les États-Unis, l'Allemagne et l'Islande et qui estiment la part de marché des VER à 4-6 % en 2020 (Gnann et coll., 2015 ; Lin et Greene, 2011 ; Shafiei et coll., 2012 ; Tran et coll., 2013). De façon générale, les études fondées sur les modèles de base des choix déclarés se révèlent encore plus optimistes, avec, par exemple, des nouvelles parts de marché des VER atteignant 27 % d'ici 2020 (Glerum et coll., 2013). Selon les effets endogènes modélisés dans le modèle REPAC (connaissance des VER et disponibilité des véhicules chez les concessionnaires, lesquels peuvent avoir des effets positifs sur les ventes), les parts de marché, selon le scénario MSQ, augmentent à 6-17 % en 2030, un résultat qui concorde avec ceux de plusieurs autres études menées aux États-Unis et ailleurs (Lin et Greene, 2011 ; Shafiei et coll., 2012 ; Tran et coll., 2013). Conformément à l'observation que nous avons faite d'une diminution de la demande de VER lorsque les incitatifs financiers sont retirés en 2018, Eppstein et ses collaborateurs ont conclu que les incitatifs financiers ont peu d'effets à long terme sur l'adoption des VER s'ils sont mis en place seulement pour une courte période.

Les résultats de nos scénarios de politiques sont uniques du fait que le modèle économétrique REPAC fait partie des rares modèles à représenter explicitement (et à distinguer) les effets des politiques axées sur la demande de celles axées sur l'offre sur les nouvelles parts de marché des VER. Nous concluons que selon un scénario de politiques « fortes » axées sur la demande, les nouvelles parts de marché des VER en 2030 ne sont pas susceptibles de dépasser 10-20 %, c'est-à-dire en présence d'une attrayante subvention à l'achat de VER offerte à l'échelle du Canada (7 500 \$ par VER pendant 4 ans), d'un vaste déploiement des infrastructures de recharge et d'un accès aux voies réservées aux VMO. D'autres modèles produisent des prédictions qui atteignent plutôt 24-100 % de parts de marché des VER selon des scénarios similaires (Lin et Greene, 2011 ; Shafiei et coll., 2012 ; Sullivan et coll., 2009 ; Tran et coll., 2013), mais ces modèles ne représentent habituellement pas les contraintes liées à l'offre, telles qu'une disponibilité ou une variété limitées de modèles VER.

Notre scénario de norme VZE est unique du fait qu'il est conçu pour représenter les différents types d'effets auxquels on peut s'attendre en présence d'une norme VZE rigoureuse et implantée à l'échelle du pays. Bien qu'il existe différentes façons de concevoir une norme VZE, nous avons opté pour un cas représentatif qui est en phase avec les recommandations formulées par d'autres études (p.ex. AIE, 2015) en ce qui concerne la progression de l'adoption des VER nécessaire pour permettre des réductions importantes des émissions de GES d'ici 2050, soit que les VER comptent pour 20 % des parts de marché des véhicules neufs en 2025 et pour 30 % en 2030. Nous spécifions de manière exogène deux mécanismes de conformité pour les constructeurs automobiles. Le premier consiste à augmenter la variété et la disponibilité des modèles de VER de façon à éliminer la contrainte liée à l'offre d'ici 2030, dans la mesure où les consommateurs perçoivent la disponibilité des VER comme étant équivalente à celle des véhicules classiques. Selon d'autres études, de telles politiques fortes axées sur l'offre sont vraisemblablement requises afin d'inciter les constructeurs automobiles à orienter leurs activités d'innovation en ce sens (Köhler et coll., 2013). Le second mécanisme de conformité est le recours à l'interfinancement interne, qui fait en sorte que les constructeurs automobiles diminuent les prix des VER qu'ils vendent et augmentent ceux des véhicules non électriques de façon à satisfaire aux exigences de ventes de VER sans que leurs recettes totales n'en soient affectées. Avec ces simulations, nous démontrons que les constructeurs automobiles au Canada peuvent respecter les exigences de la norme VZE même dans les conditions les plus pessimistes, incluant des prix du pétrole faibles et des coûts de batterie élevés. Selon des hypothèses plus optimistes, les scénarios que nous spécifions permettraient de dépasser les exigences de 2030 en obtenant jusqu'à 48 % de nouvelles parts de marché.

La dépendance des ventes de VER aux subventions à l'achat constitue un autre aspect abordé par ces scénarios de politiques. Selon le scénario MSQ et le scénario de politiques fortes axées sur la demande, les ventes de VER chutent radicalement une fois que les subventions ne sont plus en vigueur, qu'elles soient en place jusqu'en 2018 ou 2021. D'après notre expérience avec le modèle REPAC (non présentée dans le présent rapport), le même effet s'observe même si la subvention à l'achat est en vigueur durant une plus longue période. En d'autres termes, une subvention à l'achat ne semble pas donner un « élan » à court terme au marché des VER qui se perpétue lui-même ensuite : les ventes de VER continuent de dépendre d'une subvention à l'achat financée par le gouvernement, du moins pour la période de temps que nous modélisons.

En ce qui concerne le gouvernement, l'octroi de subventions à l'achat élevées sur une base pluriannuelle (p.ex. 7 500 \$ par VER) peut s'avérer très coûteux. En revanche, le scénario de norme VZE que nous modélisons comprend un incitatif aux VER d'une durée de deux ans offert à l'échelle nationale afin « d'aider » les constructeurs automobiles durant la transition initiale. Lorsque la mesure incitative prend fin, les constructeurs automobiles peuvent intervenir et

garder les volumes de ventes de VER à un niveau élevé et demeurer en voie de satisfaire à la norme VZE en augmentant la disponibilité et la variété des modèles de VER et en ayant recours à l'interfinancement interne. Il résulte d'un tel scénario une réussite durable en ce qui concerne les ventes de VER et des dépenses gouvernementales nettement moindres qu'en présence d'une subvention à l'achat élevée de longue durée. Bien sûr, une norme VZE ne constitue pas l'unique façon d'éviter des dépenses gouvernementales élevées : un système fort de taxation avec remise permettrait d'obtenir sensiblement le même résultat (non modélisé dans la présente étude).

Notre rapport présente également de façon sommaire une analyse de sensibilité de la version du modèle REPAC adaptée à la Colombie-Britannique uniquement afin de démontrer que les prévisions générées par le modèle REPAC sont plus sensibles aux hypothèses (paramètres) qui concernent les contraintes liées à la recharge à domicile, à la disponibilité des VER, à la connaissance des VER et à l'évolution des prix des VER. Des résultats similaires à ceux du modèle REPAC qui indiquent qu'une augmentation des infrastructures de recharge peut avoir un fort impact sur les parts de marché des VER ont également été obtenus à l'aide d'un modèle utilisé aux États-Unis et basé sur les agents (Lin et Greene, 2011). Bien que les deux analyses ne contiennent pas les détails qui permettent de quantifier l'importance de la recharge à domicile par rapport à la recharge dans les lieux publics. Contrairement aux résultats du modèle REPAC, les autres résultats de modélisation sont plus sensibles aux paramètres qui concernent le prix d'achat des VER et le prix du carburant uniquement (où les sensibilités à ces deux aspects sont plus élevées que celles déterminées par le modèle REPAC). Par exemple, le modèle basé sur les agents élaboré par Gnann et ses collaborateurs (2015) a démontré que les nouvelles parts de marché des VER peuvent être doublées grâce à une réduction de 10 % du prix d'achat des VER ou à une augmentation de 10 % des prix de l'essence. En revanche, le modèle REPAC révèle qu'une réduction similaire du prix d'achat ne fait augmenter les ventes que de 20 % environ. Par ailleurs, le modèle REPAC indique qu'il faudrait que les coûts de l'essence doublent pour que les parts de marché des VER doublent.

Bien que le modèle REPAC apporte une contribution inédite à la littérature, il comporte certaines limites qu'il conviendrait d'améliorer grâce à une recherche plus approfondie :

- Même si nous avons utilisé une grande quantité de données recueillies auprès des répondants pour servir de base aux hypothèses et aux paramètres du modèle, trois importants paramètres sont « dépourvus de données » : le rythme auquel le niveau de connaissance des VER peut augmenter à mesure que les ventes de VER augmentent, la mesure selon laquelle le manque de variété freinera la demande pour ce type de véhicule et la rapidité selon laquelle une hausse des ventes des VER incitera davantage de concessionnaires automobiles à vendre des VER. Des recherches ultérieures pourraient

être menées dans le but d'estimer de tels paramètres de manière empirique ou de mieux tenir compte de leur incertitude à l'aide de l'analyse Monte-Carlo.

- Afin que le modèle REPAC soit approprié pour générer des prévisions à long terme (c.-à-d. au-delà de 10 à 15 ans au cours des années à venir), il doit mieux endogénéiser les dynamiques telles que les changements dans les préférences des consommateurs (Axsen et coll., 2009 ; Mau et coll., 2008) ou les réductions de coûts de batterie induites par l'expérience de fabrication et les investissements dans la R&D (Löschel, 2002) — bien que l'ampleur de ces effets dépendra de la taille de la région modélisée.
- La représentation de l'offre de VER pourrait être améliorée davantage grâce à l'endogénéisation des décisions des constructeurs automobiles dans le modèle et de la façon dont elles seraient influencées par les politiques (en particulier les politiques axées sur l'offre), bien qu'il serait ardu de baser une telle représentation sur des données empiriques.
- De futures versions du modèle REPAC pourraient être conçues à l'aide de modèles de choix déclarés qui recueillent des données au sujet d'éléments qui ne sont pas déjà inclus dans le modèle (p. ex. l'accès à des points de recharge au travail) ou au sujet des préférences qui pourraient modifier l'expansion du marché des VER (Mau et coll., 2008).
- Il serait utile d'appliquer le modèle REPAC à divers autres types de carburants de remplacement (p. ex. les piles à hydrogène et les biocarburants) ainsi qu'à différents groupes de consommateurs (p. ex. les utilisateurs de véhicules de parcs automobiles, de véhicules moyens et de camionnettes lourdes).
- Comme il est mentionné dans la section 6.4, certaines dynamiques et interactions potentiellement importantes entre les politiques ne sont pas modélisées dans le présent rapport, particulièrement en ce qui concerne la norme sur les émissions des véhicules (qui reçoit des crédits pour les VER), la norme de carburant à faible teneur en carbone (qui reçoit également des crédits pour l'électricité utilisée pour alimenter les VER) ainsi qu'une norme VZE (qui peut être atteinte en partie grâce à la mise en œuvre de politiques axées sur la demande). Davantage de travaux de modélisation sur le sujet permettraient d'étudier plus en détail les nuances de conception de ces politiques afin de mieux comprendre ces interactions.
- Cette analyse modélise uniquement l'efficacité des politiques de soutien aux VER, sans modéliser les coûts des politiques. Notre équipe de recherche a mené des travaux distincts afin d'étudier le rapport coût-efficacité des politiques étant donné qu'une taxe sur le carbone sans incidence sur les technologies pourrait éventuellement représenter la moitié du coût de normes génératrices de progrès technique (Fox, 2013). Toutefois, nous constatons qu'une taxe sur le carbone très élevée est susceptible d'être nécessaire

pour entraîner des réductions importantes de GES (p. ex. de plus de 100 \$ la tonne), ce qui, jusqu'à maintenant, n'a été mis en œuvre par aucun gouvernement. Dans le monde réel, certaines politiques génératrices de progrès technique sont susceptibles d'être nécessaires étant donné qu'elles sont considérées comme des politiques plus acceptables politiquement. Cela étant, des recherches ultérieures permettraient d'étudier de quelle façon une conception optimale de norme VZE, du déploiement des infrastructures et d'incitatifs à l'achat pourraient minimiser les coûts d'atténuation du changement climatique.

- Enfin, nous réitérons le fait que, de façon générale, la littérature (et les modèles) qui portent sur les politiques et les ventes de VER n'ont guère réussi à étudier les effets d'une norme VZE ou d'autres politiques axées sur l'offre. La présente étude s'efforce pour sa part de modéliser une norme VZE au Canada, et nous constatons qu'une telle politique détient le potentiel de faire grimper les ventes de VER sur le long terme. Toutefois, beaucoup plus de recherches devront être menées afin de mieux comprendre les effets potentiels d'une norme VZE au Canada, y compris l'analyse des différentes conceptions de politiques en termes de différents échéanciers d'exigences de ventes de VER, ainsi que différents systèmes de crédits pour diverses options de VZE (incluant les véhicules à pile à hydrogène ainsi que les VHR et les VEB). En outre, la conception d'une telle politique devrait accompagner l'élaboration de politiques sur le climat associées, y compris une norme sur les carburants propres, un règlement sur les émissions de GES des véhicules routiers, le déploiement des infrastructures, les incitatifs à l'achat et les incitatifs non financiers.

9. IMPLICATIONS RELATIVES AUX POLITIQUES

En décembre 2016, dans le contexte de son Cadre pancanadien en matière de croissance propre et de changement climatique, le gouvernement du Canada a exprimé son intention d'élaborer une stratégie relativement aux véhicules zéro émission afin de réduire les émissions du secteur des transports. Le Cadre ne fait pas mention de politiques en particulier, mais il évoque la norme relative aux véhicules zéro émissions (VZE) adoptée récemment au Québec. Nous étudions les effets potentiels d'une norme VZE et d'autres politiques de soutien aux VER afin de savoir quelles sont les politiques qui peuvent stimuler les ventes de VER pour qu'ils obtiennent près de (ou même plus de) 30 % des nouvelles parts de marché d'ici 2030. Nos résultats comportent de nombreuses implications pour les décideurs politiques :

1. L'ensemble de politiques canadiennes actuelles en matière de climat et de soutien aux VER n'est pas suffisamment coercitif pour faire augmenter les parts de marché des VER à plus de 6-17 % d'ici 2030. Cette fourchette d'incertitude comprend les hypothèses technologiques optimistes, y compris un coût de batterie qui serait aussi bas que 100 \$ CA/kWh.
2. Si aucun changement n'est apporté à la variété et à la disponibilité des VER, même une gamme de politiques « fortes » axées sur la demande n'est pas susceptible de faire en sorte que les VER détiennent plus de 10-20% de nouvelles parts de marché d'ici 2030. Cette gamme de politiques comprend un ambitieux programme de déploiement des infrastructures de recharge et une subvention à l'achat de 7 500 \$ par VER offerte à l'échelle nationale pendant quatre ans (2018-2021). Même si une telle subvention est maintenue pour une plus longue période, les ventes de VER chutent considérablement lorsque la subvention prend fin.
3. Nous démontrons l'efficacité à long terme potentielle d'une norme VZE en prenant pour exemple une norme exigeant que les VER comptent pour 20 % des ventes de véhicules légers d'ici 2025 et pour 30 % d'ici 2030. Selon notre modèle, les constructeurs automobiles sont en mesure de satisfaire à cette norme VZE même dans les conditions les plus pessimistes, y compris des coûts de batterie élevés et des prix du pétrole faibles. Nous modélisons la conformité des constructeurs automobiles à la norme par une augmentation de la disponibilité et la variété des modèles de VER et par le recours à l'interfinancement interne au sein de leur propre flotte de véhicule, soit en diminuant le prix des VER et en augmentant le prix des véhicules non électriques.
4. Nous démontrons également qu'une norme VZE peut induire de façon efficace des ventes de VER à long terme avec des dépenses gouvernementales nettement moindres

que ne le requière un incitatif à l'achat de VER élevé et offert sur une période prolongée. Nous modélisons un scénario selon lequel le gouvernement du Canada met en place une subvention à l'achat de VER forte pour une période de deux ans afin « d'aider » les constructeurs automobiles à effectuer la transition (en plus d'un ambitieux programme d'expansion des infrastructures de recharge). Toutefois, le modèle considère que les constructeurs automobiles prendront le contrôle en ce qui concerne l'observation de la norme VZE à compter de 2020, ce qui met fin à la dépendance du marché envers les subventions à l'achat de VER octroyées par le gouvernement.

5. En somme, une norme VZE rigoureuse jumelée à un incitatif à l'achat de VER fort mais temporaire ainsi qu'à un programme ambitieux de déploiement des infrastructures de recharge pourrait constituer un élément efficace du Cadre pancanadien en matière de croissance propre et de changement climatique.

REMERCIEMENTS

Cette étude menée à l'échelle du Canada a été financée par Équiterre. L'élaboration du modèle REPAC a été financée par Ressources naturelles Canada, le Conseil de recherches en sciences humaines (CRSH), le Pacific Institute for Climate Solutions (PICS) et le gouvernement de la Colombie-Britannique.

Références bibliographiques

2016. National Inventory Report. Government of Canada.

AECOM, 2011. Forecast Uptake and Economic Evaluation of Electric Vehicles in Victoria. Australia Department of Transport.

Al-Alawi, B., Bradley, T., 2013. Review of hybrid, plug-in hybrid, and electric vehicle market modeling studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21, 190-203.

Axsen, J., Bailey, J., Castro, M.A., 2015a. Preference and lifestyle heterogeneity among potential plug-in electric vehicle buyers. *Energy Economics* 50, 190-201.

Axsen, J., Goldberg, S., Bailey, H.J., Kamiya, G., Langman, B., Cairns, J., Wolinetz, M., Miele, A., 2015b. Electrifying Vehicles: Insights from the Canadian Plug-in Electric Vehicle Study. Sustainable Transportation Research Team, Simon Fraser University.

Axsen, J., Goldberg, S., Bailey, J., 2016a. How might potential future plug-in electric vehicle buyers differ from current "Pioneer" owners? *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 47, 357-370.

Axsen, J., Goldberg, S., Bailey, J., Kamiya, G., Langman, B., Cairns, J., Wolinetz, M., Miele, A., 2015c. Electrifying Vehicles: Insights from the Canadian Plug-in Electric Vehicle Study. Simon Fraser University, Vancouver, BC, Canada.

Axsen, J., Goldberg, S., Melton, N., 2016b. Canada's Electric Vehicle Report Card. Sustainable Transportation Action Research Team (START), Simon Fraser University, Vancouver, British Columbia, Canada.

Axsen, J., Kurani, K.S., 2008. The Early U.S. Market for PHEVs: Anticipating Consumer Awareness, Recharge Potential, Design Priorities and Energy Impacts. University of California, Davis.

Axsen, J., Kurani, K.S., 2013. Hybrid, plug-in hybrid or electric: What do car buyers want? *Energy Policy* 61, 532-543.

Axsen, J., Mountain, D.C., Jaccard, M., 2009. Combining stated and revealed choice research to simulate the neighbor effect: The case of hybrid-electric vehicles. *Resource and Energy Economics* 31, 221-238.

Bahn, O., Marcy, M., Vaillancourt, K., Waaub, J.-P., 2013. Electrification of the Canadian road transportation sector: A 2050 outlook with TIMES-Canada. *Energy Policy* 62, 593-606.

Bailey, J., Miele, A., Axsen, J., 2015. Is awareness of public charging associated with consumer interest in plug-in electric vehicles? *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 36, 1-9.

Bass, F.M., 1969. New product growth model for consumer durables. *Management Science Series a-Theory* 15, 215-227.

Becker, T., Sidhu, I., 2009. *Electric Vehicles in the United States: A New Model with Forecasts to 2030*. Center for Entrepreneurship & Technology, University of California, Berkeley, Berkeley, California.

Bettman, J., Luce, M., Payne, J., 1998. Constructive consumer choice processes. *The Journal of Consumer Research* 25, 187-217.

Brownstone, D., Bunch, D.S., Train, K., 2000. Joint mixed logit models of stated and revealed preferences for alternative-fuel vehicles. *Transportation Research Part B* 34, 315-338.

Cahill, E., Davies-Shawhyde, J., Turrentine, T., 2014. *New Car Dealers and Retail Innovation in California's Plug-In Electric Vehicle Market*. Institute of Transportation Studies, UC Davis, Davis, California.

Canadian Automotive Fleet, 2016. *Fact Book 2016*. Bobit Publishing Canada Limited, Burlington, Ontario.

CANSIMS, 2015. Table 079-0003 - New motor vehicle sales, Canada, provinces and territories, annual, in: Canada, S. (Ed.).

CANSIMS, 2016a. Average retail prices for gasoline and fuel oil, by urban centre in: Canada, S. (Ed.).

CANSIMS, 2016b. New motor vehicle sales, Canada, provinces and territories, in: Canada, S. (Ed.).

CANSIMS, 2016c. Projected population, by projection scenario, age and sex, as of July 1, Canada, provinces and territories, in: Canada, S. (Ed.).

CANSIMS, 2016d. Vehicle registrations, in: Canada, S. (Ed.).

Choo, S., Mokhtarian, P., 2004. What type of vehicle do people drive? The role of attitude and lifestyle in influencing vehicle type choice. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 38, 201-222.

Clairman, C., 2014. Understanding the EV shopping experience in Ontario. Plug-n-Drive Canada, 2014 EVVE Conference, Vancouver BC.

De Vos, J., Mokhtarian, P.L., Schwanen, T., Van Acker, V., Witlox, F., 2016. Travel mode choice and travel satisfaction: bridging the gap between decision utility and experienced utility. *Transportation* 43, 771-796.

EAFO, 2016. Country Summary. European Alternative Fuels Observatory.

Eppstein, M.J., Grover, D.K., Marshall, J.S., Rizzo, D.M., 2011. An agent-based model to study market penetration of plug-in hybrid electric vehicles. *Energy Policy* 39, 3789-3802.

Fox, J., 2013. Picking Winners: Assessing the Costs of Technology-Specific Climate Policy for U.S. Passenger Vehicles, REM. Simon Fraser University.

Glerum, A., Stankovikj, L., Themans, M., Bierlaire, M., 2013. Forecasting the demand for electric vehicles: accounting for attitudes and perceptions. Transport and Mobility Laboratory, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne.

Gnann, T., Plötz, P., Kühn, A., Wietschel, M., 2015. Modelling market diffusion of electric vehicles with real world driving data – German market and policy options. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 77, 95-112.

Government of Canada, 2016. Pan Canadian Framework on Clean Growth and Climate Change.

Greene, D., Ji, S., 2016. Policies for Promoting Low-Emission Vehicles and Fuels: Lessons from Recent Analyses. The Howard H. Baker Jr. Center for Public Policy.

Greene, D.L., Park, S., Liu, C., 2014. Analyzing the transition to electric drive vehicles in the U.S. *Futures* 58, 34-52.

Greene, W.H., Hensher, D.A., 2003. A latent class model for discrete choice analysis: contrasts with mixed logit. *Transportation Research Part B: Methodological* 37, 681-698.

Heffner, R.R., 2007. Semiotics and Advanced Vehicles: What Hybrid Electric Vehicles (HEVs) Mean and Why it Matters to Consumers. Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, UCD-ITS-RR-07-30, Davis: CA.

Heffner, R.R., Kurani, K.S., Turrentine, T.S., 2007. Symbolism in California's early market for hybrid electric vehicles. *Transportation Research Part D-Transport and Environment* 12, 396-413.

Hidrué, M.K., Parsons, G.R., Kempton, W., Gardner, M.P., 2011. Willingness to pay for electric vehicles and their attributes. *Resource and Energy Economics* 33, 686-705.

HydroQuébec, 2015. Comparison of Electricity Prices in Major North American Cities.

IEA, 2015. Energy and Climate Change: World Energy Outlook Special Report. OECD/IEA, Paris.

Klippenstein, M., 2016. Canadian plug-in electric vehicle sales, GreenCar Reports.

Köhler, J., Schade, W., Leduc, G., Wiesenthal, T., Schade, B., Tercero Espinoza, L., 2013. Leaving fossil fuels behind? An innovation system analysis of low carbon cars. *Journal of Cleaner Production* 48, 176-186.

Kurani, K.S., Turrentine, T., Sperling, D., 1996. Testing electric vehicle demand in 'hybrid households' using a reflexive survey. *Transport. Res. Part D-Transport. Environ.* 1, 131-150.

Lin, Z., Greene, D., 2011. Promoting the market for plug-in hybrid and battery electric vehicles: The role of recharge availability. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2252, 49-56.

Lopes, M.M., Moura, F., Martinez, L.M., 2014. A rule-based approach for determining the plausible universe of electric vehicle buyers in the Lisbon Metropolitan Area. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 59, 22-36.

Löschel, A., 2002. Technological change in economic models of environmental policy: a survey. *Ecological Economics* 43, 105-126.

Lutsey, N., Searle, S., Chambliss, S., Bandivadekar, A., 2015. Assessment of Leading Electric Vehicle Promotion Activities in United States Cities. The International Council on Clean Transportation.

Mau, P., Eyzaguirre, J., Jaccard, M., Collins-Dodd, C., Tiedemann, K., 2008. The 'neighbor effect': Simulating dynamics in consumer preferences for new vehicle technologies. *Ecological Economics* 68, 504-516.

McFadden, D., 1974. Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behaviour, in: Zarambka, P. (Ed.), *Frontiers in Econometrics*. Academic Press, New York, NY, pp. 105-142.

Melton, N., Aksen, J., Sperling, D., 2016. Moving beyond alternative fuel hype to decarbonize transportation. *Nature Energy* 1, 1-10.

NEB, N.E.B., 2016. *Canada's Energy Future 2016: Energy Supply and Demand Projections to 2040*. Government of Canada.

Nesbitt, K., Kurani, K.S., DeLuchi, M., 1992. Home recharging and the household electric vehicle market: A constraints analysis. *Transportation Research Record* 1366, 11-19.

NRCan, 2013. *Comprehensive Energy Use Database*.

Nykvist, B., Nilsson, M., 2015. Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nature Clim. Change* 5, 329-332.

Oltra, V., Saint Jean, M., 2009. Sectoral systems of environmental innovation: An application to the French automotive industry. *Technological Forecasting and Social Change* 76, 567-583.

Pearre, N.S., Kempton, W., Guensler, R.L., Elango, V.V., 2011. Electric vehicles: How much range is required for a day's driving? *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 19, 1171-1184.

Potoglou, D., Kanaroglou, P.S., 2007. Household demand and willingness to pay for clean vehicles. *Transportation Research Part D-Transport and Environment* 12, 264-274.

Sawyer, D., Peters, J., Stiebert, S., 2016. *Impact Modelling and Assessment of Ontario's Proposed Cap and Trade Program*.

Shafiei, E., Thorkelsson, H., Ásgeirsson, E.I., Davidsdottir, B., Raberto, M., Stefansson, H., 2012. An agent-based modeling approach to predict the evolution of market share of electric vehicles: A case study from Iceland. *Technological Forecasting and Social Change* 79, 1638-1653.

Shen, J., 2009. Latent class model or mixed logit model? A comparison by transport mode choice data. *Applied Economics* 41, 2915-2924.

Statistics Canada, 2016. Table 079-0004 - New motor vehicle sales, Canada, provinces and territories, seasonally unadjusted, annual, CANSIM.

Struben, J., Sterman, J., 2008. Transition Challenges for Alternative Fuel Vehicle and Transportation Systems. *Environment and Planning B Planning and Design* 35, 1070-1097.

Sullivan, J., Salmeen, I., Simon, C., 2009. PHEV Marketplace Penetration: An Agent Based Simulation. University of Michigan, Transportation Research Institute.

Sykes, M., 2016. Does a region need its own zero emission vehicle mandate, or can it free-ride off another? Modelling British Columbia and California, Resource Environmental Management Simon Fraser University, Burnaby, BC.

Tanaka, M., Ida, T., Murakami, K., Friedman, L., 2014. Consumers' willingness to pay for alternative fuel vehicles: A comparative discrete choice analysis between the US and Japan. Transportation Research Part A: Policy and Practice 70, 194-209.

Train, K., 1980. The potential market for non-gasoline-powered automobiles. Transportation Research Part A: Policy and Practice 14A, 405-414.

Train, K., 1986. Qualitative Choice Analysis: Theory, Econometrics, and an Application to Automobile Demand. MIT Press, Cambridge, MA.

Train, K.E., 2009. Discrete Choice Methods with Simulation, 2nd ed. Cambridge University Press, New York.

Tran, M., Banister, D., Bishop, J.D.K., McCulloch, M.D., 2013. Simulating early adoption of alternative fuel vehicles for sustainability. Technological Forecasting and Social Change 80, 865-875.

Trochaniak, S., 2016. Electric Vehicle Sales in Canada: March 2016 Update, FleetCarma Blog. FleetCarma.

Turrentine, T.S., Kurani, K.S., 1998. Adapting interactive stated response techniques to a self-completion survey. Transportation 25, 207-222.

Turrentine, T.S., Kurani, K.S., 2007. Car buyers and fuel economy? Energy Policy 35, 1213-1223.

U.S. Energy Information Agency, 2015. Annual Energy Outlook with Projections to 2040.

US Department of Energy, 2013. EV Everywhere Grand Challenge Blueprint.

Weber, K.M., Rohracher, H., 2012. Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change: Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive 'failures' framework. Research Policy 41, 1037-1047.

Williams, B.D., Kurani, K.S., 2006. Estimating the early household market for light-duty hydrogen-fuel-cell vehicles and other "Mobile Energy" innovations in California: A constraints analysis. *Journal of Power Sources* 160, 446-453.

Williams, J., DeBenedictis, A., Ghanadan, R., Mahone, A., Moore, J., Morrow, W., Price, S., Torn, M.S., 2012. The technology path to deep greenhouse gas emissions cuts by 2050: The Pivotal Role of Electricity. *Science* 335, 53-59.

Wolinetz, M., Axsen, J., In Press. How policy can build the plug-in electric vehicle market: Insights from the respondent-based preference and constraints (REPAC) model. *Technological Forecasting and Social Change*.

Yang, Y., 2014. Electric Vehicle Markets Have their Ups and Downs (2014 YTD Update). International Council for Clean Transportation.