

HEC MONTRÉAL

Kevin Caron

Estimation de l'élasticité-prix de long terme de l'électricité des ménages québécois : une
approche hors échantillon

Mémoire de maîtrise

Travail présenté à :
Justin Caron et Pierre-Olivier Pineau

Remis le :
(15 juin 2017)

Résumé

L'objectif de notre projet est d'obtenir une estimation de l'élasticité prix de long terme des ménages québécois. Nous tentons donc de comprendre comment les ménages québécois réagissent et s'adaptent à des changements significatifs dans les prix de l'électricité. Comme l'interprétation de long terme nécessite une importante variation dans les prix, à l'inverse de ce qui se trouve au Québec, nous créons notre modèle à partir de microdonnées américaines. Une fois le modèle créé, nous effectuons une extrapolation en utilisant les valeurs moyennes des paramètres considérés pour le Québec. Nous trouvons une élasticité prix de long terme de -0,89. Ces résultats sont en concordance avec ce qui est généralement trouvé dans les papiers étudiant les États-Unis. La littérature sur l'élasticité prix de long terme pour le Québec est cependant trop lacunaire pour que nous puissions comparer.

Remerciements

Je tiens à remercier mes directeurs de recherche, Justin Caron et Pierre-Olivier Pineau, qui ont su m'offrir un grand support et de précieux conseils tout au long de la rédaction de ce mémoire. Il n'aurait pas pu aboutir sans leur importante contribution. La complémentarité de leur expertise a fortement contribué à enrichir et nuancer ce projet.

Un remerciement tout spécial à Héroïse, cette femme extraordinaire qui fut à mes côtés durant cette aventure, pour le meilleur et pour le pire. Ton support indéfectible et ta joie de vivre illuminaient mes journées.

Finalement, j'éprouve une incommensurable gratitude envers tous ceux qui furent à mes côtés, de près ou de loin, dans cette aventure.

Merci.

Table des matières

Résumé.....	i
Remerciements.....	ii
Table des matières.....	iii
1. Introduction.....	1
1.1 Contexte.....	1
1.2 Problématique.....	3
2. Stratégie de modélisation.....	5
2.1 Comment aborder la question de recherche?.....	5
2.2 Modélisation des données américaines.....	6
3. Revue de la littérature.....	13
3.0 Portrait de la littérature.....	13
3.1. Description des articles retenus.....	13
3.2 Prévision hors-échantillon dans la littérature.....	21
3.3 Modélisation de la structure tarifaire.....	24
3.4 Réaction asymétrique aux chocs.....	26
3.5 Analyse des variables explicatives.....	28
3.5.1 Prix du mazout et du gaz naturel.....	28
3.5.3 Degré-jour de climatisation (CDD).....	29
3.5.4 Revenu.....	29
3.5.5 Composition du ménage.....	30
3.6 Traitement de l'endogénéité dans la littérature.....	30
3.7 L'élasticité dans la littérature.....	33
4. Bases de données.....	36
4.1 Sélection de la base de données pour les États-Unis.....	36
4.2 Fiabilité de la base de données.....	37
4.3 Accessibilité des données pour le Québec.....	37
4.4 Manipulation des données.....	38
4.4.1 Utilisation du prix moyen.....	38
4.4.2 Manipulation des données et variables explicatives.....	39
4.4.3 Variable instrumentale : prix du gaz naturel et du charbon.....	40
4.4.4 Mauvais contrôle: exclusion de la taille de la maison.....	41
4.4.5 Stratification selon les paramètres.....	41
4.5 Données québécoises.....	42

4.6 Valeur empirique des variables	44
5. Méthodologie :	47
5.0 Introduction.....	47
5.1 Modélisation du prix de l'électricité par l'approche semi-paramétrique.....	47
5.1.1 Approximation polynomiale	50
6.0. Forage et interprétation des données.....	55
6.1 Locataire	56
6.1.1 Locataire selon la région	57
6.2 Elwarm.....	59
6.2.1 Elwarm selon la région	60
6.3 Aircond.....	62
6.3.1 Aircond selon la région	63
6.4 Revenu	64
6.5 Température	66
6.5.1 degré-jour de chauffage (HDD65).....	67
6.5.2 HDD65 et l'impact de la possession d'un système de chauffage électrique	68
6.5.3 Ne possèdent pas un système de climatisation	72
6.6 Nombre d'individus dans le ménage (NHSLDMEM).....	73
6.6.1 NHSLDMEM selon le quintile de revenu du ménage.....	75
6.7 Inclusion des variables d'interaction au modèle.....	76
6.8 Selon les divisions.....	79
7. Extrapolation de la fonction de demande au Québec.....	81
7.1 Transposition des données québécoises au modèle américain.....	81
7.2 Demande extrapolée pour le Québec	82
7.3 Élasticité de long terme extrapolée pour le Québec, selon l'origine des observations.....	84
7.4 Élasticité de long terme extrapolée pour le Québec, selon les variables explicatives	87
7.5 Implications de nos résultats pour le Québec	90
8. Conclusion et avenues de recherche	92
8.0 Récapitulatif.....	92
8.1 Rétrospective.....	92
8.2 Avenues de recherche.....	93
9. Références bibliographiques :	96
10. Annexe	99

1. Introduction

1.1 Contexte

Le Québec possède d'énormes infrastructures électriques : barrages hydroélectriques, centrales, réseaux de transmission et de distribution déployés sur un vaste territoire. À la tête de cette production, Hydro-Québec est l'un des principaux producteurs d'électricité en Amérique du Nord. Depuis sa création en 1944, il permet à la population québécoise de se procurer de l'électricité à des tarifs qui figurent parmi les plus bas au monde¹. En 2015, les clients résidentiels de Montréal payaient près de la moitié de ceux de Toronto et moins du quart de ceux de New-York, lorsque mesuré en cents par kWh (voir l'illustration 1 en annexe). Ces bas prix sont historiquement tributaires du potentiel hydroélectrique à bas coût qui a pu être développé et de la révolution tranquille des années 1960, dont le slogan "*Maîtres chez nous*" symbolisait un nationalisme québécois grandissant et une volonté d'obtenir une meilleure autonomie économique et énergétique. Ceci permit notamment de favoriser l'accessibilité à l'électricité pour tous tout en abaissant drastiquement les prix demandés aux résidents à travers une subvention croisée, au dépend des consommateurs commerciaux et industriels. Hydro-Québec, et de façon plus générale le secteur de l'hydroélectricité, est perçu favorablement par les québécois et demeure un symbole important de l'identité québécoise². Pourtant plusieurs groupes, tels que les auteurs du manifeste *Pour un Québec lucide* publié en 2005, mettent en lumière certaines inefficiences du marché de l'électricité et de la tarification au Québec. Plus récemment, un papier rédigé par Pineau(2010) a passé en revue les problématiques majeures limitant l'évolution des prix de l'électricité. Il façonne son argumentaire autour de l'identité nationale, de l'équité, du développement régional et industriel, de l'efficacité économique, des finances publiques et de l'environnement. Son approche objective et structurée tend à montrer que malgré la perception de la population et l'engouement pour le *statu quo*, la tarification actuelle est régressive et sous-optimale. Toutes considérations faites, une refonte de la structure tarifaire ou une révision à la hausse des prix de l'électricité permettrait de générer une plus-value considérable pour le Québec en termes économiques,

¹ (Hydro-Québec,2015) *Rapport*

² (Historica Canada,2015) *Quiet Revolution et Hydro-Québec*

sociaux et environnementaux³. Ces auteurs ne sont pas les seuls à remettre en question ce marché. À partir des années 1980, un nombre croissant d'articles dénonçant certaines inefficiences du secteur de l'électricité au sein de la province est publié. Saunders (2001) propose la dérégulation du secteur énergétique en Amérique du Nord. Clark (2007) suggère une révision à la hausse de la structure tarifaire au Québec. Robert (2005) démontre le caractère régressif de la structure tarifaire d'Hydro-Québec.

Il semble également y avoir une appétence croissante, au niveau politique, pour certains changements au niveau de ce marché. Notamment, de nombreuses discussions sont présentement en cours au sujet d'une potentielle augmentation de l'exportation d'hydroélectricité Québécoise vers les états de la Nouvelle-Angleterre. Ainsi, le 20 mars 2017 le gouverneur du New Hampshire, Chris Sununu, s'est prononcé fortement en faveur du projet *Northern Pass*, qui permettrait de créer une nouvelle ligne de transmission entre le Québec et le nord du New Hampshire. Cette nouvelle ligne aurait une capacité de 1200 mégawatts, permettant d'alimenter près d'un million de ménages américains⁴. Les états de la Nouvelle-Angleterre comptant largement sur le gaz naturel pour leurs besoins énergétiques, une augmentation de la transmission d'électricité d'origine québécoise leur permettrait de diminuer leur émission de gaz à effets de serre à travers une diminution importante de leur dépendance envers le gaz naturel. Parallèlement, la province francophone générerait des revenus supplémentaires, d'autant plus que le coût de fabrication et de transmission est largement inférieur au prix moyen de l'électricité en Nouvelle-Angleterre.

En 2016, Hydro-Québec a généré un bénéfice net de 2,86 milliards de dollars canadiens. Au cours de la même année, 28% du bénéfice net de cette société était généré par les exportations d'électricité, alors que celles-ci ne représentaient que 16% des ventes nettes d'électricité⁵. En raison du climat mais surtout des prix de l'électricité figurant parmi les plus bas au monde, les québécois sont parmi les plus grands consommateurs d'électricité par personne sur le globe. Le fait que le prix de l'électricité au Québec soit parmi les plus bas au monde coïncide avec la population qui en consomme le plus par personne, malgré d'importants gains en intensité énergétique. Comme le

³ "Le prix de l'électricité au Québec : des argumentaires en conflit", Pineau P.-O., [*Globe - revue internationale d'études québécoises*](#), vol. 13 (2) 101-123, 2010.

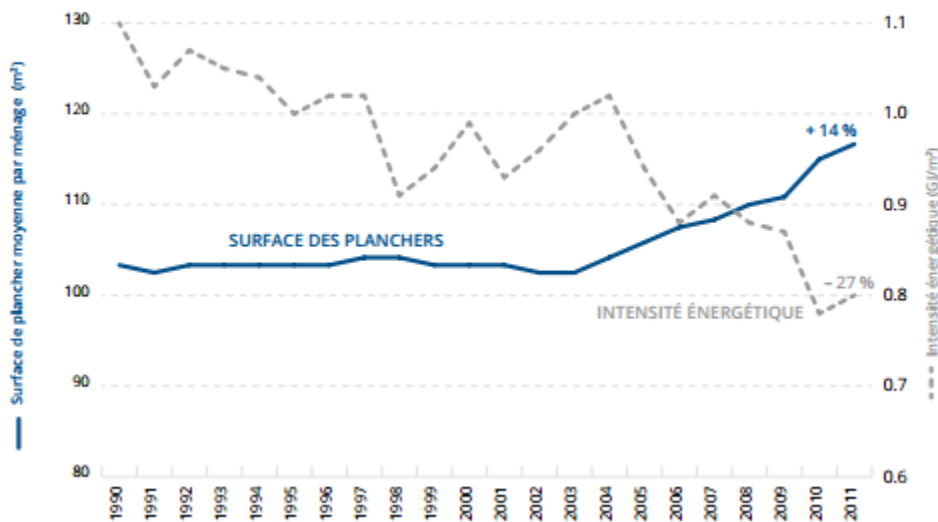
⁴ <http://www.unionleader.com/energy/Gov-Sununu-praises-Northern-Pass-project-during-visit-to-Montreal-03212017>

⁵(Hydro-Québec,2016) *Rapport annuel*

montre l'illustration 1 ci-dessous, en 20 ans l'intensité énergétique moyenne des ménages québécois a diminué de près de 30% malgré une augmentation de 14% de la surface de plancher pour la même période.

ILLUSTRATION 1⁶

FIGURE 3.3.13 • ÉVOLUTION DE LA SURFACE DE PLANCHER ET DE L'INTENSITÉ ÉNERGÉTIQUE MOYENNES DES MÉNAGES QUÉBÉCOIS, 1990-2011



Source : Office de l'efficacité énergétique (2014).

1.2 Problématique

Malgré un intérêt croissant de la part du Québec et des états américains concernés de réformer ce marché, aucune étude scientifique d'envergure n'a été effectuée sur l'intégration des marchés du Québec et de la Nouvelle-Angleterre. Une plus grande intégration des marchés de l'électricité de l'Amérique du Nord mériterait d'être étudiée plus en profondeur. Notamment, une analyse approfondie des impacts économiques potentiels d'une meilleure intégration du secteur des énergies renouvelables entre le Québec et la Nouvelle-Angleterre permettrait de bien comprendre les enjeux et opportunités qui en découlent, dans le cadre de potentielles négociations et ententes futures. Un des paramètres clé dans la modélisation mais aussi dans la compréhension de ce marché

⁶ "État de l'énergie au Québec", Pineau, Pierre-Olivier et Whitmore, Johanne. (2017)

est de comprendre l'élasticité de la demande. Dans ce contexte, l'objectif de notre recherche est de combler la littérature en estimant l'élasticité prix de long terme des ménages québécois en rapport à l'électricité. Nous calculons et argumentons qu'une augmentation de 10% du niveau des prix de l'électricité se traduira, à long terme, par une consommation d'électricité équivalente à 85% de la consommation pré-hausse. Une partie significative de cette diminution sera attribuable à la décision de posséder un système de chauffage électrique.

2. Stratégie de modélisation

2.1 Comment aborder la question de recherche?

Nous cherchons donc à estimer fidèlement comment les ménages québécois s'adapteront à d'hypothétiques changements dans le prix de l'électricité à long terme⁷. Qu'arriverait-il à la consommation moyenne des ménages si les prix augmentaient? Est-ce que l'impact serait proportionnel pour un changement de 1% et de 10%? De façon encore plus cruciale quels regroupements de la population modifieraient leur consommation, et dans quelle mesure? Qui seraient les potentiels perdants et gagnants de ces nouvelles politiques? Ce sont autant de questions de recherche fortement importantes qui nécessitent d'être adressées. Pour ce faire, nous nuancions et enrichissons nos résultats en quantifiant et analysant les différents paramètres (tels que le revenu et le fait d'être propriétaire de son lieu de résidence) ayant une incidence sur la consommation des ménages suite à un changement de la structure tarifaire.

Une façon d'approximer l'élasticité prix de long terme des ménages pour l'électricité est d'étudier les régions à forte variation dans les prix de l'électricité. Une autre manière est de capter les différences de prix entre plusieurs périodes lorsque ces différences sont relativement importantes et que nous avons des données pour un horizon temporel appréciable. En raison de caractéristiques propres au Québec concernant la faible variabilité et volatilité des prix, comme nous le verrons plus en profondeur dans les prochaines sections, ces deux méthodes ne peuvent être utilisées directement pour notre recherche.

Cette recherche cherchant à obtenir une interprétation de long terme, les hypothèses sous-jacentes à la méthodologie diffèrent par rapport au calcul traditionnel de l'élasticité de court terme qui est généralement calculée. La méthodologie utilisée permet notamment de nuancer les résultats en étudiant certains groupes socio-économiques distincts. Le modèle sera à même de capter les changements structurels dans les comportements de consommation du secteur résidentiel suite à des changements de prix de l'électricité. Pour y parvenir, plutôt que d'utiliser les changements incrémentaux dans la tarification appliquée aux ménages, nous exploitons la variation inter-

⁷ Le long terme étant perçu comme l'horizon temporel permettant des changements structurels et relativement permanents dans les comportements de consommation.

régionale des prix constatée aux États-Unis. En discontinuité avec la littérature québécoise sur le sujet nous prenons en considération, et contournons, une difficulté méthodologique majeure : le prix de l'électricité varie très peu dans le temps et l'espace au Québec. Pour remédier à cette problématique, nous profitons du fait que le prix de l'électricité varie beaucoup d'une région à une autre aux États-Unis et utilisons les données de régions américaines afin de modéliser la demande. Nous utilisons celle-ci, par la suite, afin d'effectuer une extrapolation pour le Québec.

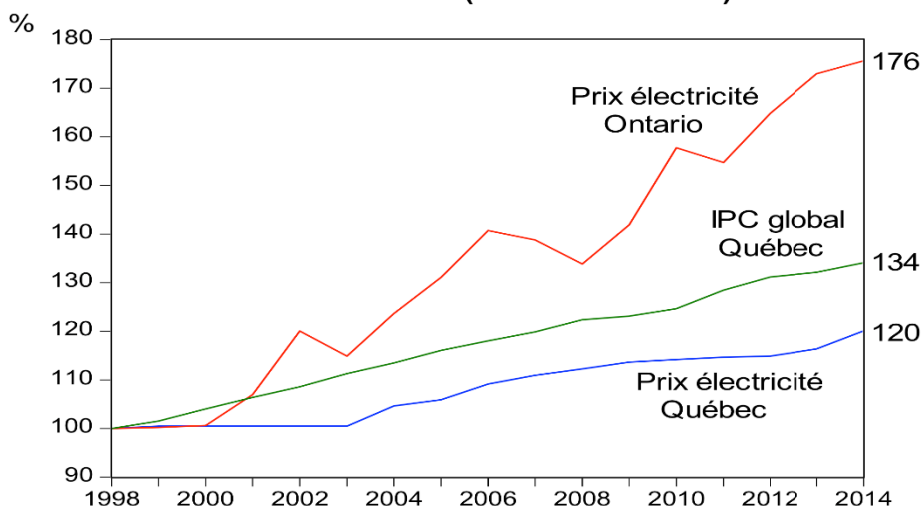
Cette méthodologie nous permet d'obtenir une interprétation de long terme dès lors que nous posons l'hypothèse que d'une région à l'autre, les ménages se sont adaptés structurellement aux réalités de leur milieu de vie. Toutes choses étant égales par ailleurs, à long terme, deux ménages vivant à des endroits où le prix de l'électricité diverge fortement adopteront des comportements de consommation différents; il y a une adaptation structurelle, plutôt qu'une adaptation à la marge.

2.2 Modélisation des données américaines

Pour notre recherche, le plus simple serait donc de prendre directement les données sur la consommation des ménages québécois à un moment spécifique et observer les composantes affectant cette consommation, dont le prix. Tel que mentionné précédemment, nous nous heurtons cependant à deux obstacles majeurs; le premier d'ordre pratique et le deuxième d'ordre théorique. D'abord, l'accessibilité aux données d'Hydro-Québec est extrêmement limitée. Nous n'avons pas été en mesure d'obtenir les microdonnées nécessaires pour bien comprendre l'interaction entre la consommation, le prix et les autres variables explicatives potentielles. Les bases de microdonnées disponibles pour le Québec sont extrêmement limitées et ne permettent pas de faire l'analyse désirée. Or, même si ces données étaient accessibles, le deuxième obstacle est de toute façon rédhibitoire. Cet obstacle relève de la variabilité et de la volatilité des prix de l'électricité au Québec dans le secteur résidentiel. La variation réelle des prix de l'électricité au Québec dans le secteur résidentiel est trop faible pour que nous puissions l'utiliser pour estimer l'élasticité prix de long terme. Dans le meilleur des cas, ces microdonnées nous auraient permis de mieux comprendre les impacts distributionnels d'une hausse de prix d'une région à l'autre, ce qui s'écarte de notre sujet de recherche. L'illustration 2 ci-dessous montre clairement que le prix varie très peu à travers le temps, et à peu près au même rythme que l'indice des prix à la consommation global du Québec. En comparaison, la volatilité des prix de l'électricité en Ontario est beaucoup plus grande.

Illustration 2⁸

**Prix de l'électricité résidentielle au Québec et en Ontario
et indice global des prix à la consommation (IPC) au Québec
de 1998 à 2014 (indice 1998 = 100)**



Source : Statistique Canada.

Nous aimerions mettre la main sur des microdonnées permettant de capter ce genre de variabilité. Comme notre méthodologie s'articule autour d'un modèle transversal, nous ne pouvons profiter de la dimension temporelle; nous avons besoin de données pour lesquelles le prix varie d'une région à une autre. L'interprétation de long terme peut se faire lorsque nous observons une forte variabilité (géographique) dans les prix de l'électricité. Au Québec, le tarif est identique d'une région à l'autre de par la *loi sur la Régie de l'énergie*. Les décisions relativement aux changements de prix relèvent ultimement de la *régie de l'énergie*, dont le mandat est « d'assurer la conciliation entre l'intérêt public, la protection des consommateurs et un traitement équitable du transporteur d'électricité et des distributeurs »⁹. Il existe tout de même une certaine variabilité dans les prix en raison de la structure tarifaire par palier, mais l'utiliser pour notre recherche s'avérerait beaucoup trop complexe sans forcément apporter une valeur ajoutée. En effet, en raison de cette structure tarifaire le prix moyen de l'électricité pour les ménages dépend de leur consommation individuelle, et il y a donc automatiquement une endogénéité entre le prix et la consommation. Pour la période

⁸ *Statistiques Canada*, statistiques sur les prix et indices des prix. Consulté 5 août 2017.

⁹ <http://www.regie-energie.qc.ca/regie/mission.htm>

entre le 1^e avril 2017 et 31 mars 2018, la tarification est basée sur un montant journalier fixe relié à la redevance d'abonnement, le tarif D, 40,64¢. S'ajoute à cette redevance un prix de 5,82¢/kWh pour les 33 premiers kWh et deuxième prix de 8,92¢/kWh pour l'électricité consommée additionnelle. Le 1^e avril 2017, la consommation limite entre les deux tarifs est passée de 30kWh à 33kWh de façon à diminuer significativement le prix moyen pour les ménages ayant une consommation modeste¹⁰. Dans ces circonstances où il y a de l'endogénéité, il faudrait trouver une variable instrumentale fiable, mais la littérature sur le sujet indique que ce n'est pas réaliste pour cette recherche. Bien qu'un certain biais d'endogénéité ne soit pas évitable dans ces circonstances, l'exploitation de la variabilité dans la tarification moyenne de l'électricité entre les ménages engendrait une endogénéité beaucoup trop importante puisque l'ensemble de la variation dans les prix, pour le Québec, est causé par la tarification par palier. À notre connaissance, aucune étude pour le Québec ne considère ni ne tente de contourner l'endogénéité induite par la faible variabilité des prix et la tarification par palier lors du calcul de l'élasticité prix de court ou de long terme.

Toujours en discontinuité avec ce qui a été fait dans la littérature, nous utilisons une approche hors-échantillon avec des microdonnées américaines afin d'extrapoler l'élasticité prix de long terme des résidents québécois face à l'électricité. L'intuition de cette approche est relativement simple. Plutôt que d'utiliser directement les microdonnées québécoises (qui ne sont pas disponibles et qui de toute façon contiennent peu de variabilité dans les prix), nous créons un modèle à partir des données américaines. Celles-ci ont l'avantage crucial d'être caractérisées par de très fortes variations dans les prix de l'électricité d'une région à une autre et d'un ménage à un autre. Nous profitons de cette variabilité pour estimer un modèle de demande qui permet une interprétation de long terme. Ce modèle est ensuite utilisé pour extrapoler l'élasticité-prix des ménages québécois grâce aux données moyennes pour le Québec. Le modèle construit peut s'interpréter par des décisions de long terme car nous faisons l'hypothèse qu'en prenant une coupe transversale et en différenciant d'une région à l'autre, c'est comme si nous prenions des ménages initialement similaires qui ont évolué dans des circonstances différentes et qui ont su restructurer leurs habitudes de consommation. Bien qu'il n'existe pas une méthodologie spécifique et unique pour interpréter le long terme, l'hypothèse que notre modèle capte ces comportements s'articule

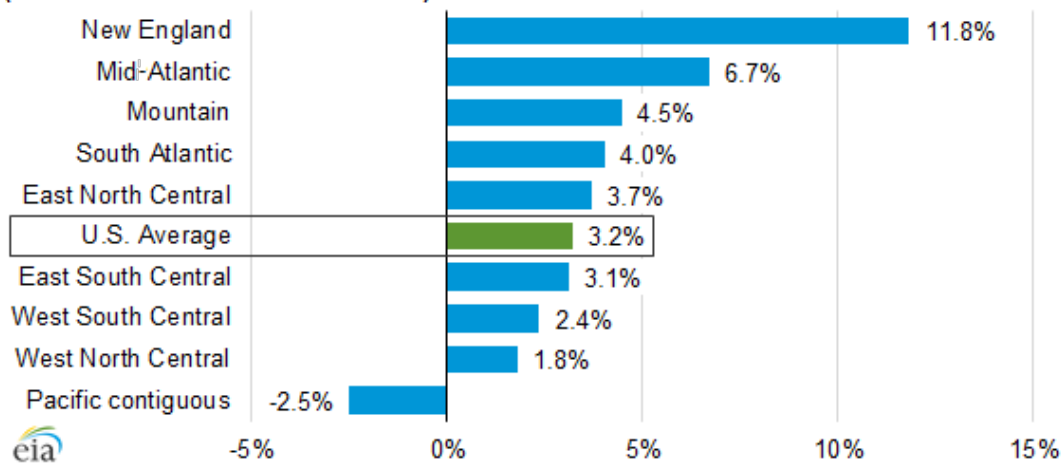
¹⁰ (voir <http://www.hydroquebec.com/residentiel/espace-clients/compte-et-facture/comprendre-facture/tarifs-residentiels-electricite/tarif-d.html>)

autour d'arguments relativement conservateurs dont nous allons traiter ci-dessous. L'interprétation du long terme est que les ménages ont le temps nécessaire pour adapter leurs comportements de consommation, soit en changeant leurs habitudes de la vie courante ou encore en investissant dans de nouveaux électroménagers, appareils ou même des améliorations aux infrastructures résidentielles. La durée de vie moyenne de beaucoup de ces équipements étant approximativement une décennie, c'est l'horizon temporel sur lequel nous basons notre recherche. Dans ce contexte, même si nous cherchons uniquement à capter les variations géographiques des prix, il demeure important de se demander si la volatilité temporelle est suffisamment élevée pour que les ménages soient incités à remettre en question leurs comportements de consommation. L'illustration 3 ci-dessous montre que dans la plupart des régions des États-Unis, le prix de l'électricité a augmenté à un rythme soutenu entre la première moitié de 2013 et la première moitié de 2014.

Illustration 3

Changement dans le prix résidentiel de l'électricité selon la région américaine, entre la première moitié de 2014 et 2013

Change in average residential electricity prices by Census division (first half 2014 versus first half 2013)

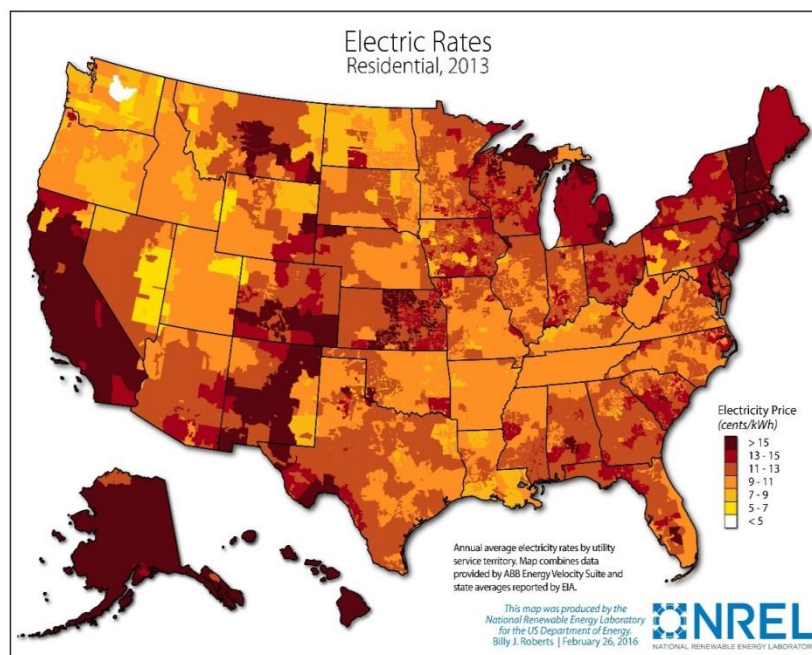


Les dépenses reliées à l'électricité occupant une place relativement importante dans le revenu disponible des ménages, ces hausses importantes des prix risquent d'avoir un effet sur le comportement des consommateurs à long terme en changeant les habitudes de consommation et en modifiant les comportements d'achats. Nous faisons l'hypothèse que les comportements de consommation sont dynamiques et adaptatifs à travers le temps pour des régions et structures

tarifaires spécifiques. Pour notre modèle, les implications de cette volatilité demeurent périphériques. En revanche, il est essentiel pour nous que la variabilité entre les régions et à l'intérieur des régions soit considérable puisque c'est cette variabilité (et non la volatilité) qui nous permettra ultimement d'obtenir notre interprétation de long terme. La variabilité intra-régionale n'est pas uniforme d'un endroit à un autre pour les États-Unis, mais dans son ensemble elle est considérable et suffisante pour mener à bien notre analyse. L'illustration 4 ci-dessous, produite par le *National Renewal Energy Laboratory*,, représente le prix résidentiel annuel moyen de l'électricité pour chaque région. Elle illustre l'appréciable variabilité des prix.

Illustration 4

Prix résidentiel de l'électricité selon la région des États-Unis en 2013



Ces prix varient entre 5cents/kWh et plus de 15cents/kWh. Nous constatons qu'à l'intérieur des états les prix sont rarement homogènes, même si certaines régions telles que la Nouvelle-Angleterre semblent avoir un niveau de prix relativement stable selon leur représentation. L'illustration 2 en annexe représente l'ensemble de nos observations des prix résidentiels moyens (\$/kWh) selon la division géographique et montre qu'il y a une variabilité appréciable non

seulement entre les divisions mais aussi à l'intérieur de celles-ci. Il est à noter cependant que cette illustration tend à surestimer la variabilité, dans la mesure où par le nombre élevé d'observations il nous est difficile d'observer avec fiabilité la distribution des observations pour une division spécifique. Par exemple, pour la première division avec une analyse visuelle rapide nous pourrions croire que la moyenne de ces observations se situe dans les alentours de 0,2\$/kWh alors qu'en réalité elle est de 0,124\$/kWh. Nos observations respectent donc le critère fondamental de la variabilité (à la fois entre les régions et à l'intérieur de ces régions) pour pouvoir s'interpréter sur le long terme. Dans la revue de la littérature nous justifions le choix d'utiliser cette base de données, et conséquemment les données américaines, plutôt que des données sur d'autres régions telles que l'Ontario ou d'autres provinces canadiennes.

L'extrapolation est peu exploitée dans la littérature et nécessite de faire certaines hypothèses. L'hypothèse cruciale que nous faisons est que le comportement des ménages américains des états présélectionnés est comparable, à circonstances égales et à long terme, au comportement des ménages québécois¹¹. Les hypothèses nécessaires à notre analyse sont décrites et analysées à la section 7. La revue de la littérature ci-dessous a pour objectif de situer le lecteur à travers les recherches existantes sur l'élasticité prix de la demande d'électricité du secteur résidentiel. Nous analysons certains articles pertinents qui ont tenté de répondre à une question analogue à la nôtre pour le Québec et pour les États-Unis, en mettant en exergue les éléments distinctifs de notre méthodologie. Une attention particulière est accordée à la méthodologie utilisée, aux caractéristiques des différents modèles et à certaines faiblesses des articles retenus. Nous effectuons donc un portrait global de la littérature sur le sujet en dégagant certaines tendances et en analysant les différentes composantes des articles.

Finalement, comme nous allons argumenter dans la section 3 ci-dessous, nous considérons qu'en raison du contexte tarifaire particulier du Québec les rares études effectuées pour cette région utilisent une méthodologie qui ne convient pas à l'estimation de l'élasticité prix de long terme. La seule étude tentant d'estimer l'élasticité prix de long terme est celle de Bernard (2010) et nous argumentons que sa méthodologie contient plusieurs lacunes importantes. Notre recherche tente

¹¹ Cette hypothèse fait fi des différences culturelles profondément enracinées dans les différentes communautés, qui ne se traduisent cependant pas forcément dans des manières distinctes de consommer l'électricité.

de répondre à certaines de ces lacunes en apportant une solution alternative aux méthodologies utilisées par le passé pour le long terme.

3. Revue de la littérature

3.0 Portrait de la littérature

L'objectif de ce projet de recherche est d'estimer une élasticité-prix de la demande permettant de répondre à la problématique énoncée dans l'introduction. Le point de départ est l'utilisation de microdonnées américaines pour faire des extrapolations sur le Québec, puisque les bases de données américaines sont beaucoup plus accessibles et riches en information. Notre méthodologie, l'extrapolation de l'élasticité prix de long terme pour le Québec grâce au modèle de demande construit avec les données américaines, se situe en discontinuité avec ce qui est trouvé dans la littérature. Dans la section ci-dessous, nous passons en revue les différentes études qui se sont penchées sur la question de l'élasticité de la demande résidentielle d'électricité. En parallèle nous décrivons, analysons et justifions certaines caractéristiques de notre propre recherche à la lumière de ce que la littérature nous enseigne sur la question. Cette section s'articule selon les considérations importantes d'une recherche de ce genre. D'abord, nous résumons et analysons brièvement les articles considérés à travers les hypothèses et méthodologies utilisées. Nous nous attardons ensuite sur la méthode d'analyse hors-échantillon et ses implications en recherche. Puis, toujours à travers le cadre des articles sélectionnés, nous élaborons sur l'importance de la modélisation de la structure tarifaire, la sélection des variables explicatives et le traitement de l'endogénéité. Nous passons ensuite en revue les différentes méthodologies utilisées pour estimer l'élasticité de long terme et les distinctions quant à la méthode et les hypothèses pour le court et le long terme. Finalement, nous décrivons les résultats obtenus dans la littérature concernant l'élasticité prix et les comparons avec nos propres résultats.

3.1. Description des articles retenus

Il existe de nombreux articles étudiant la demande d'électricité pour diverses régions des États-Unis. Pour le Québec, les recherches sont plus parsemées. Il y en a quelques-unes qui s'interrogent sur le secteur énergétique mais rares sont celles qui se concentrent spécifiquement sur la demande résidentielle d'électricité. Pour le Québec, nous analysons les articles de Robert (2005) et de Bernard (2009). Pour les États-Unis, nous avons retenu les articles de Fell (2010), de Liu (2011) et de Reiss et White (2005). Nous élaborons également sur quelques articles pour lesquels certains

éléments plus spécifiques nous intéressent. Nous commençons cette sous-section par une brève description de chaque article, pour ensuite aller plus en profondeur sur la méthodologie utilisée, les variables explicatives considérées et les résultats obtenus. Parallèlement, nous comparons notre propre recherche avec ces études.

Le premier document retenu pour le Québec est celui de Robert (2005). Cette auteure cherche à modéliser la demande d'électricité au Québec à travers le modèle de dépense de Stone, appliqué à la consommation d'électricité par les ménages. Celui-ci permet de modéliser la consommation comme une fonction des prix et des dépenses totales. Elle utilise les données de *l'Enquête sur les dépenses des familles* pour les années 1982, 1984, 1986, 1990, 1992 et 1996. Elle utilise également les données de *l'Enquête sur les dépenses des ménages* pour les années 1997. Ces deux enquêtes sont produites et compilées par Statistique Canada. Le nombre d'observations varie fortement d'une année à l'autre, et les deux enquêtes utilisent des méthodologies légèrement différentes. L'équation qu'elle utilise a la forme :

$$\text{Log} \left(\frac{\text{électricité}}{p} \right) = X\beta + u \quad (1)$$

où β est le vecteur des coefficients et X la matrice des variables explicatives. Les variables explicatives utilisées par l'auteure sont illustrées dans l'illustration 5 ci-dessous.

Illustration 5

Variables utilisées par Robert(2005)

Variable explicative	Description
<i>Prix, P</i>	Indice des prix de l'électricité (où 1992 est l'année de référence)
<i>Électricité</i>	Dépenses annuelles d'électricité en dollars par ménage
<i>Urbain</i>	Variable binaire 0 ou 1 ; Lieu de résidence urbain=1, 0 sinon
<i>Chauffage_électricité</i>	Variable binaire 0 ou 1 ; Locaux chauffés à l'électricité= 1, 0 sinon
<i>Degré_jour_chauffage</i>	Degrés jours de chauffage annuellement
<i>Membres</i>	Nombre de membres du ménage
<i>Enfants</i>	Nombre d'enfants du ménage
<i>Revenu</i>	Revenu du ménage avant impôts
<i>Prix_gaz</i>	Indice de prix du gaz naturel
<i>Prix_mazout</i>	Indice de prix du mazout et autres combustibles liquides

L'auteure s'est servie de l'identité :

$$\text{Électricité} = \text{Prix} * \text{quantité} \quad (2)$$

Afin de manipuler son modèle et d'obtenir la quantité pour calculer l'élasticité prix. Elle a utilisé un indice des prix de l'électricité provenant d'*Hydro-Québec*, de façon à ce que le seul inconnu de l'équation (2) soit la quantité consommée d'électricité. Cette pratique semble courante dans les articles qui utilisent des banques de données ne contenant pas la quantité consommée d'électricité mais seulement les dépenses. Dans les circonstances cette méthode simple possède plusieurs faiblesses, notamment concernant la fiabilité des données et une possible endogénéité entre le prix et la consommation. L'endogénéité est un terme récurrent dans notre recherche, sur lequel nous reviendrons à plusieurs reprises. Contrairement à notre propre recherche, les résultats de cet article s'interprètent comme l'élasticité de court terme, puisque la variation régionale dans les prix est nulle (le prix est le même dans l'ensemble de la province à tout moment donné) et la volatilité est très faible. Également, l'auteure montre à quel point la question de recherche peut rencontrer des obstacles majeurs pour le Québec. D'abord, plutôt que de prendre le prix individuel marginal ou moyen pour chaque maison, elle doit se contenter d'un indice du prix de l'électricité ; ceci enlève une partie importante de la puissance explicative et de la précision de son modèle. Également, la base de données utilisée contenait seulement les dépenses en électricité, et non pas la

consommation (kWh). Comme l'élasticité se calcule en termes de changement dans la consommation suite à un changement de prix, des manipulations additionnelles sont nécessaires. Le fait de considérer la consommation comme le ratio des dépenses sur l'indice de prix vient exacerber le problème d'endogénéité et brouiller l'interprétation et la fiabilité de l'élasticité calculée, puisque la valeur réelle de la consommation des ménages est dans ce cas dépendante du prix. Comme toute l'auteure obtient une élasticité prix relativement élevée, surtout pour le court terme. Selon ses résultats, une hausse de 1% des prix de l'électricité ferait diminuer la consommation de 0.812%. Une limite de ses résultats est qu'elle ne tient pas compte de l'hétérogénéité de la population ; elle ne prend pas en compte le fait que les ménages ayant des caractéristiques différentes risquent d'y réagir différemment.

La deuxième étude analysée relative au Québec est celle de Bernard (2010). C'est la seule étude que nous ayons trouvée qui tente d'évaluer l'élasticité de long terme de l'électricité pour le Québec. Il étudie les données de quatre sondages indépendants effectués par Hydro-Québec entre 1989 et 2002 afin de créer des cohortes d'individus relativement homogènes. Il a ensuite regroupé ces cohortes afin de créer un modèle de données pseudo-panel¹². Le modèle utilisé par l'auteur pour modéliser la demande d'électricité est celui-ci :

$$y_{nt} = \alpha * y_{n,t-1} + X_{nt} * \beta + \theta_n + \varepsilon_{nt} \quad n=1,2,\dots,N_t \text{ et } t = 1,\dots,T \quad (3)$$

où y_{nt} représente la quantité d'électricité consommée par le ménage n à la période t , $y_{n,t-1}$ est la valeur passée de la quantité consommée par le ménage n et α est le coefficient qui lui est associé. X_{nt} est le vecteur des variables explicatives et β représente le vecteur des coefficients de ces variables explicatives. θ_n est l'effet fixe non observable, ε_{nt} est le terme d'erreur, N_t est le nombre de ménages dans l'échantillon au temps t et T est le nombre de périodes étudiées. L'auteur a d'abord agrégé les données des ménages en cohortes puis a utilisé les moyennes pour chacune de ces cohortes afin d'estimer son modèle. Il y a de l'hétéroscédasticité et de l'autocorrélation dans le terme d'erreur. L'auteur suppose cependant qu'il n'y a pas de corrélation entre le terme d'erreur des différentes cohortes. Cette hypothèse est importante parce qu'on ne peut savoir quel serait le

¹²Traduit de l'anglais: *pseudo-panel data model*

signe du biais. Les résultats seraient donc biaisés dans un sens que nous ignorons, et il serait d'autant plus difficile d'interpréter les résultats. Cette hypothèse semble discutable pour au moins deux raisons. D'abord, il n'a que 27 cohortes et il y a en moyenne 127 ménages par cohorte, réduisant les chances de capter les corrélations réelles. Par ailleurs, bien que l'auteur ait tenté de créer des cohortes relativement homogènes (en regroupant les ménages selon la taille des maisons et la région administrative), ces deux critères sont loin d'être suffisants pour pouvoir garantir une homogénéité. Également, le fait d'agréger les données sur les ménages en cohorte peut aussi engendrer un biais. En effet, comme l'expliquent Dubin et McFadden (1984), l'agrégation des données peut engendrer un biais de sélection si la demande en électricité est non linéaire. Cette fois-ci encore, il n'est pas possible de connaître le signe de ce biais potentiel.

Afin de donner une interprétation de long terme à l'élasticité, il tient seulement compte des ménages dont la maison a été construite ou dont l'appareil de chauffage a été remplacé durant les 5 dernières années précédant les différents sondages utilisés. Ceci permet d'avoir une idée de l'impact des variables explicatives, dont le prix de l'électricité, sur les comportements structurels des ménages. Cependant, ceci ne permet pas de capter l'adaptation dans les habitudes de consommation des ménages. Là encore, il risque d'y avoir de l'endogénéité dans son modèle car la décision d'achat d'un appareil de chauffage ou d'électroménagers est corrélé avec l'utilisation qui en est faite (Dubin, 1984).

Cette étude témoigne de la difficulté d'obtenir une élasticité prix de long terme pour le Québec dans la mesure où, d'une part, les banques de données n'ont pas de dimension temporelle stable (d'où la création d'un modèle de pseudo-panel) et, de l'autre, le prix de l'électricité n'est pas volatile au Québec. Bien qu'originale, sa méthodologie possède d'importantes limites, notamment au sujet de la représentativité des données agrégées en cohortes et de la comparaison de bases de données effectuées différemment et sur des horizons temporels divers. Nous verrons à la section 5 comment notre méthodologie permettra de répondre à certaines problématiques de l'article de Bernard (2010).

Fell (2010) utilise la méthode des moments généralisés afin d'analyser les dépenses mensuelles des ménages américains en électricité, telles que mesurées par le *Consumer*

Expenditure Survey (CEX). Il affirme que sa recherche est en discontinuité avec la littérature utilisant le CEX pour mesurer l'élasticité de la demande d'électricité, car en général les chercheurs ne prennent pas en compte la potentielle simultanité entre le prix moyen de l'électricité par état (obtenu par le biais de l'*Energy Information Agency*) et la quantité d'électricité consommée (obtenue en divisant les dépenses totales par le prix moyen par état). L'auteur se retrouve donc dans une situation similaire à Robert(2005), mais tente d'y remédier. Il tente de résoudre cette potentielle simultanité en utilisant la méthode des moments généralisés afin d'estimer les paramètres de son modèle. Pour notre analyse, deux de ses équations nous importent :

$$\ln q_{ist} = \beta * \ln p_{ist} + x_{ist} \gamma + e_{ist} \quad (4)$$

$$\ln p_{ist} = \alpha_s * \ln q_{ist} + z_{ist} * \delta + \varepsilon_{ist} \quad (5)$$

où t représente le mois, s l'état et i le ménage. q_{ist} représente la quantité d'électricité consommée par le ménage i au temps t et p_{ist} le prix moyen de l'électricité qui y est associé¹³. x_{ist} et z_{ist} sont les vecteurs des variables explicatives pour chacune des deux équations. L'auteur évite la simultanité entre ces deux équations grâce aux variables instrumentales. Il remplace la variable des prix de l'équation (4) par les parts de divers intrants (tels que l'essence et le charbon) à la production d'électricité de même que leur prix. Ceux-ci sont considérés comme des chocs exogènes à q_{ist} . Dans l'équation (5), il remplace la variable q_{ist} par d'autres variables relatives aux caractéristiques des ménages telles que le nombre de résidents et la taille de la maison. Comme nous avons déjà la quantité consommée, pour notre recherche il suffirait d'instrumentaliser le prix de l'électricité. Or, comme notre base de données couvre uniquement l'année 2009 et que les informations sur la zone géographique sont limitées, les bénéfices que nous pourrions retirer de l'utilisation de cette variable instrumentale sont limités en termes d'endogénéité. À la section 6, nous expliquons tout de même dans quelle mesure nous avons tenté d'intégrer une variable instrumentale à notre modèle mais que les bénéfices étaient inférieurs aux avantages pour notre modèle, notamment en termes de pouvoir explicatif.

Liu (2011) modélise la demande d'essence pour les États-Unis. De nombreuses similitudes

¹³ Ce prix ne représente pas le prix moyen réel payé par le ménage, mais est un indice des prix qui est le même pour un même état s au même temps t .

existent dans l'étude du marché de l'électricité et de l'essence. Plusieurs caractéristiques de son modèle seront donc reprises dans le nôtre. Il part de la fonction de demande semi-paramétrique de l'essence pour arriver au modèle semi-paramétrique à coefficients lisses¹⁴. Ceci lui permet notamment d'obtenir, plutôt qu'une seule élasticité, plusieurs élasticités en fonction de la valeur numériques des paramètres sélectionnés. Par exemple, son modèle lui permet d'évaluer l'évolution de l'élasticité lorsque le revenu du ménage ou le prix de l'essence augmentent. Ceci s'avère être une amélioration comparativement aux autres articles en ce qu'une plus grande nuance est possible. Nous effectuons également plusieurs opérations afin d'étudier l'évolution de l'élasticité prix lorsque les autres variables évoluent. De façon plus technique, ce modèle relâche l'hypothèse de l'élasticité constante, permettant *de facto* aux coefficients d'être des fonctions lisses inconnues. Ce modèle à coefficients non constants représente, pour cette raison, une amélioration par rapport au modèle linéaire ou logarithmique. Son modèle prend la forme :

$$Y_{it} = X'_{it} * g(Z_{it}) + e_{it} \quad (6)$$

où X_{it} est le vecteur des variables explicatives dont le comportement est considéré linéaire, Z_{it} est le vecteur des variables dont le comportement est inconnu et $g(.)$ représente les fonctions lisses non spécifiées du vecteur Z_{it} . Une équation semi-paramétrique similaire sera utilisée au début de notre recherche afin de comprendre le comportement conjoint des prix et de la consommation aux États-Unis. Or, notre étape finale étant de transposer les données québécoises au modèle créé à partir des données américaines, pour des raisons techniques il nous est impossible d'utiliser la fonction semi-paramétrique pour la transposition et l'estimation de l'élasticité prix au Québec. Cette fonction nous est cependant fortement utile dans la mesure où elle nous permet de tester quelle approximation polynomiale (linéaire, quadratique, etc) est la plus adaptée pour expliquer le modèle.

Reiss et White (2005) étudient la demande résidentielle d'électricité pour l'état de la Californie. Ils mettent l'accent sur les différents éléments à prendre en considération lors de l'élaboration d'un modèle visant à évaluer la demande. Ils traitent notamment de l'impact du choix de modélisation de la structure tarifaire liée à l'électricité, de l'hétérogénéité dans la sensibilité des consommateurs aux changements de prix et de l'impact de l'agrégation des microdonnées. Cet

¹⁴ Traduit de l'anglais : *semiparametric smooth coefficient model*

article est repris au gré de la revue de la littérature afin de mettre en lumière certaines problématiques inhérentes à l'étude de la demande d'électricité.

Les quelques articles sur la demande d'électricité au Québec ne semblent pas prendre en compte ou même considérer un élément crucial. Le prix de l'électricité est le même dans toute la province et est très peu volatil dans le temps. Bien que cette considération soit particulièrement importante dans l'estimation de l'élasticité de long terme, elle peut également s'avérer problématique pour l'estimation de court terme. Comme la *Régie de l'énergie* interdit à Hydro-Québec d'établir des tarifs différents pour différentes régions de la province, la structure tarifaire est la même pour l'ensemble de la province. Il ne reste donc que la dimension temporelle qui puisse être exploitée pour analyser l'impact du prix sur la consommation. Or, en parallèle, le prix est très peu volatil; il est principalement indexé à l'inflation. Dans ces circonstances l'estimation de l'élasticité au Québec est problématique puisque les variations dans les prix sont trop faibles pour que nous puissions capter avec fiabilité son impact sur la consommation.

Ceci empêche de prédire une élasticité de long terme fiable puisque de modestes changements dans les prix, même s'ils sont cumulés pendant plusieurs années, ne permettent pas d'estimer les changements profonds et structurels dans le comportement des consommateurs suite à une variation significative des prix. Les petits changements à la marge du prix de l'électricité au Québec ne permettent pas de calculer une élasticité prix de long terme pour le secteur résidentiel québécois. L'objectif de notre recherche est de profiter de la grande variabilité des prix aux États-Unis afin d'extrapoler l'élasticité prix de long terme des ménages québécois pour l'électricité. À notre connaissance, cette méthode de prévision hors-échantillon n'a jamais été utilisée pour le marché de l'électricité du Québec. Elle nécessite de faire certaines hypothèses cruciales mais offre un nouvel angle d'analyse qui permet d'écarter une partie des faiblesses des études antérieures. Dans la section ci-dessous, nous élaborons sur la méthode hors-échantillon dans la littérature scientifique.

3.2 Prévision hors-échantillon dans la littérature

Dans notre recherche, nous faisons l'hypothèse que le comportement des américains des états présélectionnés permet de prédire le comportement des résidents québécois lorsque nous tenons compte de certaines variables explicatives. Est-ce réaliste?

D'abord, ce n'est probablement pas le cas à court terme, puisqu'ils évoluent dans des milieux économiques et culturels relativement différents et que toutes ces différences ne sont pas mesurables ou même explicables. À long terme cependant, on s'attend à ce que les comportements de consommation d'électricité de régions différentes convergent, sans nécessairement être les mêmes, lorsque les valeurs des paramètres sont les mêmes. Autrement dit, dans le cas hypothétique d'une augmentation des prix de l'électricité (au Québec au niveau de certains états américains), les québécois adopteraient, à long terme, des comportements de consommation d'électricité similaires aux américains lorsque nous contrôlons pour les variables explicatives considérées. En raison de la complexité du phénomène, un élément sensible que nous ne traiterons pas dans cette recherche relève des anticipations des ménages. Il est probable que pour deux ménages équivalents vivant dans des lieux similaires, si l'un est habitué à une forte variabilité des prix et l'autre à un tarif constant, la sensibilité aux changements de prix ne sera pas la même. Dans notre extrapolation, ceci pourrait avoir un impact puisque de façon agrégée la variabilité des prix est plus forte aux États-Unis, bien que de nombreuses régions ont une stabilité comparable à celle du Québec en termes de prix de l'électricité. Il est possible d'argumenter que la propension des ménages à réfléchir à leur consommation est plus grande puisque les économies potentielles à une adaptation des comportements est plus grande. Dans ce cas, les résultats de notre extrapolation sous-estimeraient probablement la sensibilité des ménages québécois dans le cas d'une modification des attentes suite à un choc discret dans les prix.

Fell (2010) trouve, pour les États-Unis, une élasticité prix beaucoup plus élevée (-0.82 à -1.02) que d'autres études étudiant la même question pour le Québec. Un effort de sélection est fait pour trouver des régions relativement similaires au Québec pour que l'extrapolation soit faite avec des éléments comparables. À la section 6, nous testons si les préférences des ménages en termes de consommation varient d'une région à une autre. Nous cherchons notamment à déterminer sous quelles conditions et dans quelle mesure la variation de certaines variables explicatives peut avoir,

ou ne pas avoir, d'impact sur l'élasticité mesurée. L'objectif, ce faisant, est d'appuyer et justifier l'utilisation de régions spécifiques pour lesquels l'élasticité est stable. Ces étapes permettent de trier et de justifier l'utilisation de microdonnées spécifiques. L'investigation des différences fondamentales dans les comportements de consommation entre les régions concernées serait fortement pertinente pour une recherche ultérieure, mais dépasse le sujet de la nôtre. Nous effectuons tout de même une série de tests statistiques afin d'estimer la fiabilité *ex-post* de notre modèle selon la région. L'inaccessibilité de certaines données demeure elle aussi un frein considérable, sans être rédhibitoire à notre analyse.

La littérature sur la méthode de prédiction hors-échantillon contient plusieurs lacunes et est parsemée à travers plusieurs champs d'expertise. Bien que nous n'ayons pas trouvé d'études utilisant cette technique dans le cadre de l'obtention d'une quelconque élasticité, quelques études s'y réfèrent pour répondre à d'autres types de problématique. Dans cette section, nous passons en revue quelques études présélectionnées et expliquons en quoi elles se rapprochent et divergent en rapport à notre propre analyse. Nous détaillons précisément la procédure pour la prévision hors-échantillon utilisée pour notre propre recherche à la section 7.

La première étude sur laquelle nous nous attardons est celle de Molodtsova (2008), qui s'emploie à mesurer le pouvoir explicatif des modèles de prédiction du taux de change réel. Alors que les études antérieures à la sienne posaient principalement la question sur les modèles empiriques de taux de change, cette auteure se penche sur la puissance, à travers la prévision hors-échantillon, des modèles de prédiction du taux de change qui intègrent la loi de Taylor à leur modèle. Bien que la plupart des études mentionnées par l'auteure montrent que les modèles classiques (modèles conventionnels avec taux d'intérêt, parité du pouvoir d'achat et marché monétaires) ne sont pas en mesure de passer le test de l'hors-échantillon, l'auteure trouve que les modèles intégrant la loi de Taylor ont un bon pouvoir prédictif dans la majorité des cas lorsque testé avec le modèle hors-échantillon. Comme pour notre propre analyse, le modèle de base utilisé aura un impact significatif sur l'efficacité de notre estimation basée sur le modèle calibré hors-Québec.

Son sujet de recherche est dans un autre domaine que le nôtre, mais certaines considérations peuvent être généralisées à notre propre analyse. D'abord, l'auteure observe que le hors-

échantillon n'est pas fidèle à la réalité dès lors que le modèle est créé à partir de données pré-Bretton-Woods et qu'il est utilisé pour des données post-Bretton-Woods. Cette considération, fortement intuitive, implique que les changements structurels pouvant avoir un impact significatif sur le modèle créé viendront affecter fortement le pouvoir prédictif du modèle hors-échantillon. Ceci s'explique par le fait que les deux catégories de données observées (avant et après l'accord) ne sont pas régies par les mêmes règles et fonctionnements. Pour notre recherche, nous utilisons des données transversales de 2009, il n'y a donc pas le risque que les deux groupes de données (celui utilisé pour créer le modèle et l'autre pour effectuer la transposition hors-échantillon) divergent en raison d'événements significatifs tels que l'accord de Bretton-Woods. Il y a cependant de fortes chances qu'il y ait des différences marquées et non cernables par nos variables explicatives entre les comportements des ménages québécois et américains quant à leurs comportements de consommation d'électricité.

Une autre étude, celle de McBride (2016) tente d'utiliser la méthode de prédiction hors-échantillon afin de créer un outil d'évaluation et de ciblage de la pauvreté. Bien que ce sujet de recherche soit très différent du nôtre, certaines considérations dans la sélection des bases de données initiales sont communes. D'abord, ils ont sélectionné leurs variables explicatives à la fois grâce à la validation croisée et à l'ensemble statistique afin de tester lequel offrait un meilleur pouvoir prédictif au modèle. Dans la mesure où les variables explicatives disponibles pour notre étude sont limitées et doivent être à la fois présentes et convertibles entre les deux bases de données utilisées (celles des États-Unis et du Québec) nous ne serons pas en mesure d'effectuer le deuxième de ces tests.

Ces auteurs concluent leur papier en mettant l'emphase sur la pertinence et la fiabilité de la méthode hors-échantillon lorsque les bases de données sont réconciliables et que les variables explicatives sont bien choisies. Bien que leur méthode de prédiction hors-échantillon s'insère dans des modèles d'apprentissage automatique plutôt qu'une simple méthode de prédiction hors-échantillon comme la nôtre, l'importance de la sélection des bonnes bases de données demeure la même¹⁵. Afin de tester le pouvoir prédictif de notre modèle, nous effectuons une validation croisée de façon à estimer le pouvoir prédictif, dans le cadre d'une extrapolation hors-échantillon, de notre

¹⁵ Traduit de l'anglais "machine learning"

modèle créé à partir des données américaines. Bien que l'utilisation de l'apprentissage automatique puisse s'avérer intéressante pour notre recherche, cette technique ne permettrait pas de régler la question de la congruence des comportements entre les ménages américains et québécois. Ainsi, il serait possible d'optimiser le modèle obtenu grâce aux données américaines avec les variables explicatives à notre disposition, mais ça ne nous renseignerait aucunement sur les aspects non expliqués pouvant avoir un impact sur les décisions de consommation des ménages des deux groupes.

Bien que le champ d'application de l'estimation hors-échantillon soit large, et particulièrement prometteur dans les domaines de l'apprentissage statistique, les études trouvées et analysées sont peu révélatrices quant à la méthodologie à utiliser et les éléments sensibles à considérer. Tout au plus, ces articles permettent de mettre en avant-plan l'importance d'obtenir des bases de données fiables et pour lesquelles aucun changement structurel majeur n'a eu lieu entre deux collectes (tels que ce fut le cas pour l'article de Molodtsova (2008) qui a effectué une prévision hors-échantillon avec des valeurs de devise avant et après l'accord de Bretton Woods). Conséquemment, même si les deux bases de données que nous utilisons (celle des États-Unis et celle du Québec) sont transversales, nous effectuons quelques tests afin de nous assurer, en partie du moins, de la légitimité de notre modèle. Il n'existe cependant pas, à notre connaissance et considérant les moyens à notre disposition, de moyen de tester et mesurer précisément la juste-valeur et la précision de l'extrapolation. Nous justifions nos choix quant aux bases de données dans la section 4 ci-dessous.

3.3 Modélisation de la structure tarifaire

Comme nous l'avons vu à la section 2.2, la tarification de l'électricité au Québec est non-linéaire. Lors de la création d'un modèle de demande, la façon de modéliser le prix est critique. Or, la modélisation d'une structure tarifaire non linéaire peut être complexe. Au Québec en 2016, chaque consommateur résidentiel payait une redevance d'abonnement journalière de 40,64¢, 5,71¢/kWh pour les 30 premiers kWh par jour et 8,68¢/kWh pour l'énergie excédentaire consommée (le tout facturé mensuellement)¹⁶.

¹⁶http://www.hydroquebec.com/publications/fr/docs/tarifs-conditions-distributeur/grille_tarifaire.pdf

À cela, pour une très petite proportion de consommateurs ayant besoins d'une puissance supérieure à 50 kW s'ajoute une prime de puissance qui dépend de la saison. Bien qu'il soit possible de modéliser cette structure tarifaire de façon fidèle à la réalité, ce n'est pas forcément la façon optimale de procéder. Reiss et White (2005) expliquent que la non-linéarité du prix marginal de l'électricité peut impliquer un biais, dont le signe est inconnu, dans le terme d'erreur du modèle. De même, une simultanéité entre la consommation et le coût marginal est très probable, notamment parce que les consommateurs n'ont que très vaguement conscience du changement de prix marginal : ils ne savent pas vraiment quand leur consommation dépasse le seuil du deuxième bloc tarifaire, qui fait monter le prix marginal à 8,68¢/kWh. Le biais est présent lorsque le prix considéré dans le modèle n'est pas le prix marginal mais plutôt le prix moyen ou un indice des prix puisqu'il sera systématiquement différent du prix réellement chargé pour la dernière unité de consommation. La simultanéité s'explique par le fait que le coût marginal dépend de la quantité consommée lorsque la structure tarifaire est par palier, alors que la consommation des ménages dépend du prix chargé final.

Par ailleurs, de nombreuses études mettent l'emphase sur le fait que le coût moyen a un meilleur pouvoir prédictif sur la consommation que le coût marginal pour le secteur de l'électricité. Borenstein (2009) teste l'hypothèse que si les gens prenaient en compte les prix marginaux pour établir leurs choix de consommation, il y aurait de nombreux ménages dont la consommation serait agglutinée aux limites des nouveaux paliers de prix. Les résultats semblent montrer que ce n'est pas significativement le cas. Shin (1985) arrive à la même conclusion. Fonteijn (2015) montre que la demande ne répond pas à des changements marginaux dans les prix, mais plutôt à la tendance générale ainsi qu'aux attentes de changement. Dans ces circonstances, dans la mesure où le ménage moyen ne s'intéresse qu'à la facture finale qu'il observe, l'utilisation du prix moyen semble plus justifiable que le prix marginal.

Pour sa recherche, Robert (2005) utilise l'indice des prix de l'électricité établi par Statistique Canada. Cet indice des prix peut s'interpréter comme le prix moyen lorsque considéré sur plusieurs périodes mais ne varie pas, pour un période donnée, entre les régions et les ménages. Cet indice est donc très peu précis puisqu'il est agrégé à l'ensemble des ménages du Québec, même si chacun d'entre eux paie un prix moyen différent en fonction de sa consommation. L'implication

naturelle est que l'auteur ne peut capter de façon fiable l'impact du prix sur la consommation lorsque la période est fixée. Pour notre recherche, comme nous utilisons les données transversales de 2009, il nous faut davantage de variation spatiale et entre les ménages pour mener à bien notre analyse.

Quant à Bernard (2010), il opte plutôt pour l'utilisation du prix marginal de l'électricité comme variable explicative. Comme il tronque ses données en excluant les ménages moins fortunés (il utilise seulement les ménages vivant dans des maisons unifamiliales), ce coût marginal équivaut principalement au dernier palier de tarification pour les ménages qui consomment plus de 30kWh par jour. Il arrive cependant à capter une meilleure variation dans les prix que Robert (2005).

Dans son article, Fell (2010) accorde une grande importance au fait d'utiliser le prix moyen de l'électricité plutôt que le prix marginal. Il fait l'hypothèse que les ménages répondent au prix moyen de l'électricité plutôt qu'au prix marginal, hypothèse que nous reprendrons aussi dans notre recherche. Comme nous utilisons les microdonnées de plusieurs états américains, le prix moyen par ménage permet d'obtenir une appréciable variabilité lorsque nous considérons l'ensemble des données, davantage que les articles étudiés traitant de l'élasticité au Québec.

3.4 Réaction asymétrique aux chocs

Dans ce contexte où la structure tarifaire présentement établie est critiquée par plusieurs parties prenantes et considérant tous les arguments (autant au niveau économique, social et environnemental) favorisant la hausse des prix de l'électricité au Québec, il convient de s'informer et de bien comprendre les impacts d'une hausse potentielle. La population n'étant pas homogène, tous les groupes ne seront pas affectés ni ne s'adapteront de la même façon à ce choc tarifaire. Il y aura, comme pour toute politique, des groupes avantagés et des groupes désavantagés. Un des axes à considérer afin de mieux cerner ces changements relève de la demande d'électricité. Même si la structure tarifaire varie de la même façon pour tous les ménages, les réactions divergeront. Il est donc primordial, dans l'éventualité où *Hydro-Québec* venait à proposer une hausse des tarifs et que la *Régie de l'énergie* l'approuvait, de bien comprendre l'effet de celle-ci sur chaque groupe

socio-économique du Québec.

La structure tarifaire actuelle est régressive en raison notamment de la redevance journalière qui fait augmenter le coût moyen plus drastiquement pour les plus petits consommateurs, puisque la part de cette redevance dans la facture totale diminue à mesure que la consommation augmente. Une augmentation générale des prix permettrait d'accroître les revenus générés par le gouvernement mais mettrait une pression sur les ménages, particulièrement ceux ayant des faibles revenus.

De prime abord, on peut penser que les ménages moins nantis risquent de souffrir davantage de cette hausse du prix de l'électricité lorsque nous considérons le pourcentage de leur revenu qui y est attribué. S'ils ont une forte élasticité prix ils seraient en mesure de s'adapter sans trop de perte d'utilité, mais la littérature et nos résultats semblent montrer que les ménages de ce groupe-socioéconomique sont au contraire peu sensibles aux variations de prix de l'électricité. Bien que les plus pauvres aient avantage à faire plus attention à leur consommation d'électricité puisque celle-ci occupe une plus grande partie de leurs dépenses, leur potentiel d'adaptation est limité dans la mesure où les appareils permettant de mieux gérer sa consommation (électroménagers à haute efficacité énergétique, système de climatisation, etc.) sont moins courants chez ce groupe. Si les ménages mieux nantis ont une consommation plus sensible aux changements de prix, il est possible que leurs dépenses totales diminuent suite à cette hausse de prix; dans ce cas, les revenus supplémentaires générés par Hydro-Québec proviendraient majoritairement des ménages à plus faibles revenus. À la fin de notre recherche nous élaborons sur des pistes de tarification possibles et optimales pour le futur, à la lumière des résultats de notre analyse. Une de ces pistes est l'abolition de la redevance journalière automatique. Notre recherche permet d'apporter un regard nuancé et pluriel aux impacts potentiels de la hausse des prix de l'électricité au Québec dans les différents ménages.

3.5 Analyse des variables explicatives

Plusieurs faits intéressants peuvent être mis en exergue concernant les variables explicatives incluses dans les études analysées. Dans cette sous-section-ci, nous faisons une brève revue des variables explicatives utilisées dans la littérature sur la demande d'électricité en décrivant et analysant l'impact de certaines d'entre elles sur les résultats obtenus par les auteurs sélectionnés. Simultanément, nous décrivons et justifions nos choix quant aux variables que nous avons nous-même retenues. Les variables généralement utilisées sont le prix du mazout et du gaz naturel, le degré-jour de climatisation (CDD) et de chauffage (HDD), la classe de revenu, le nombre d'individus dans le ménage et le nombre d'enfants, la région de résidence, le fait de posséder ou non un système de chauffage et de climatisation électrique et bien entendu sur le prix moyen de l'électricité.

3.5.1 Prix du mazout et du gaz naturel

D'abord, Robert (2005) et Bernard (2010) trouvent tous les deux un coefficient négatif pour le prix du mazout dans les régressions qu'ils ont effectuées. Dans des pays où une partie importante de l'électricité serait générée par des sources d'énergie non-renouvelable comme le mazout, on s'attendrait à ce qu'un prix plus élevé de cette ressource pousse les prix de l'électricité à la hausse. Cette hypothèse semble cependant peu persuasive dans la mesure où, aux États-Unis, seulement 0,7% de l'électricité est générée par le mazout¹⁷. Les auteurs n'interprètent pas le signe obtenu pour cette variable. Pour notre recherche, cette variable ne peut être considérée puisque l'électricité est presque exclusivement générée par l'hydroélectricité au Québec; l'inclusion du prix du mazout viendrait brouiller les coefficients des paramètres de notre modèle lors de l'exercice de prévision hors-échantillon.

Aux États-Unis, le gaz naturel a une grande influence sur le prix de l'électricité. De plus en plus de centrales sont au gaz naturel. Également, pour la consommation d'électricité, le gaz naturel est un substitut imparfait : si le prix du gaz est élevé, nous nous attendons à un impact positif sur la consommation d'électricité ainsi que sur son prix. Cette variable est donc pertinente pour étudier les comportements aux États-Unis. Or, dans la mesure où 99% de l'électricité au Québec est générée par l'hydroélectricité, cette relation n'est pas valable pour la province et il est

¹⁷ https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/sec7_5.pdf

donc peu pertinent de l'utiliser pour notre analyse. Les auteurs utilisant cette variable dans le cas des États-Unis obtiennent des résultats congruents, quoique modestes, quant à son impact sur la consommation d'électricité.

3.5.3 Degré-jour de climatisation (CDD)

Seule Robert (2005) n'inclut pas le degré-jour de climatisation (CDD) comme variable explicative. Le coefficient est pourtant significatif et quantitativement important pour toutes les études analysées qui l'incluent. L'augmentation du nombre de journées chaudes augmente la consommation d'électricité selon toutes les études à l'exception de celle de Bernard (2010). Ce dernier justifie le signe obtenu par le fait qu'une saison estivale chaude s'accompagne généralement d'un hiver plus clément. Bien que le nombre de ménages possédant un système de climatisation soit relativement faible pour le Québec, l'omettre risque de biaiser le HDD en brouillant l'effet individuel du degré-jour de chauffage et de climatisation. Finalement, Fell (2010) montre que le degré-jour de chauffage a un coefficient positif seulement si les ménages considérés possèdent un système de chauffage électrique, ce qui est logique puisque dans ce cas les ménages utilisent davantage d'électricité pour chauffer. Nos analyses confirment les propos de Fell (2010) en ce que nous trouvons que la variable d'interaction entre la possession d'un système de climatisation et HDD est fortement significative.

3.5.4 Revenu

Intuitivement, nous devrions nous attendre à ce que l'élasticité-revenu soit positive puisque l'électricité est considérée comme un bien normal. C'est le cas dans l'analyse de Robert (2005), mais pas pour Bernard (2010). Ceci peut s'expliquer par l'omission par ce dernier des ménages qui ne vivent pas dans une maison unifamiliale, de même que par le caractère facultatif du sondage utilisé pour obtenir ses données. En ne prenant en considération qu'un seul type de ménage, ce chercheur fait face à un grand problème de sélection. Non seulement les ménages vivant dans une maison unifamiliale font généralement partie des quintiles de revenus les plus élevés, mais ce type d'habitation est l'un des plus énergivores. En incluant les autres types de ménage, il serait sans doute plus apte à cerner les différences de revenu pour des groupes socio-économiques différents. Comme au Québec le prix marginal devient constant après 30kWh par jour¹⁸, il ne serait pas

¹⁸ De façon postérieure à la rédaction de cette recherche, le premier bloc a été élevé à 33kWh par jour.

étonnant que, contrairement à un ménage plus représentatif de la population, la plupart des ménages dans son échantillon atteignent quotidiennement ce palier de facturation. Pour les États-Unis, les études considérées obtiennent tous un coefficient positif pour le revenu des ménages. Dans notre analyse, nous devons agréger en différents niveaux de revenu afin de rendre compatibles les bases de données américaine et québécoise utilisées. Or, même en agrégeant les niveaux de revenu, il se peut que la grande divergence dans la distribution des revenus aux États-Unis comparativement au Québec vienne enlever un peu de la force prédictive à cette variable. À titre d'exemple, le dernier quintile de revenu contient beaucoup plus de millionnaires et de milliardaires aux États-Unis qu'au Québec, ce qui viendrait perturber légèrement la prévision de consommation au Québec. Dans notre analyse, le revenu a un impact statistiquement significatif sur la consommation d'électricité. Également, nous constatons que la sensibilité aux prix évolue de façon non linéaire par rapport aux revenus; les ménages les moins nantis ainsi que les plus nantis ont une sensibilité moindre, alors que les ménages de la classe moyenne large semblent beaucoup plus réactifs. Les articles considérés n'ont pas été en mesure de dégager ce constat.

3.5.5 Composition du ménage

Le nombre d'individus dans le ménage, le nombre d'enfants et le type de région sont des variables récurrentes dans la littérature sur la demande d'électricité. Le coefficient associé est le même pour tous les articles considérés soit, respectivement, positif, négatif et positif (lorsque le ménage est dans une région rurale). Dans le cadre de notre exercice de prévision hors-échantillon, seul le nombre d'individus dans le ménage pourra être considéré puisque nous n'avons pas les autres informations pour les deux régions.

3.6 Traitement de l'endogénéité

Dans la littérature, peu d'articles semblent tenir compte de l'endogénéité entre la consommation d'électricité et le prix. Fell (2010) est l'un des rares à l'avoir considéré. Plutôt que d'utiliser le prix de l'électricité comme variable explicative, il utilise une variable instrumentale afin de prévenir la simultanéité entre le prix de l'électricité et la consommation : le prix retardé d'une période du gaz naturel et du charbon. Comme l'électricité est majoritairement générée à partir de ces *inputs* aux États-Unis, c'est une variable instrumentale relativement précise qui permet de réduire les probabilités que la mauvaise spécification du modèle induise un biais dans la mesure où le résidu

de la régression principale est corrélé avec le prix. Cette technique ne tient cependant pas en compte que ces *inputs* ont une relation bilatérale avec l'électricité; ils sont à la fois considérés comme des substituts à l'électricité car dans certain cas leur utilisation est interchangeable, et complémentaires en ce que le gaz naturel et le charbon sont utilisés pour produire de l'électricité. L'implication directe est que le prix et la consommation d'électricité sont tous les deux affectés par les valeurs reliées à ces variables instrumentales. Par ailleurs, la valeur de ces variables instrumentales varie peu dans le temps et entre les zones géographiques puisque les données qu'il utilise sont disponibles seulement à un niveau agrégé. Ceci implique une diminution de la précision de son modèle¹⁹. Un autre inconvénient de l'utilisation de cette variable instrumentale est la difficulté, voir l'impossibilité, de retracer la chaîne d'approvisionnement des centrales électriques; non seulement les prix de ces ressources changent d'un état à l'autre et d'un fournisseur à un autre, savoir quels coûts sont associés à l'utilisation de cet *input* pour chaque centrale électrique devient extrêmement hasardeux. En définitive, l'utilisation de variables instrumentales par Fell est théoriquement adéquate, mais semble manquer de cohérence lorsque nous prenons en considération les caractéristiques du marché en question et des effets dynamiques entre les prix et la consommation.

Outre ces considérations, il est difficile de déterminer si le biais relié à l'endogénéité, qu'il élimine partiellement, est inférieur ou supérieur aux biais d'agrégation résultant du choix de ses instruments. Kim (2016), quant à lui, utilise le prix du charbon et du gaz naturel pour contrôler le prix de l'électricité. Il obtient une élasticité prix faible comparativement à la plupart des autres études, et le justifie par le fait que le non-traitement de l'endogénéité entraîne un biais à la hausse de l'élasticité. Ceci semble aller en sens opposé par rapport à l'interprétation de Fell (2010). Pour les mêmes raisons évoquées que pour Fell (2010), l'utilisation de ces variables instrumentales risque de donner des résultats hasardeux. Pour notre étude, pour des raisons pratiques il nous serait impossible d'utiliser ces variables instrumentales pour le Québec puisque le prix des énergies non-renouvelables n'a pas d'impact sur la production, et ultimement le prix, de l'électricité. Ceci s'avère être une des principales limites de la prévision hors-échantillon : lorsqu'il y a des différences sociétales importantes entre les deux bases de données, telles que les *inputs* à la production d'électricité ou passer d'un marché pré-Bretton Woods à post-Bretton Woods, il peut

¹⁹ Il étudie seulement les régions de recensement, c'est-à-dire le midwest, le nord-est, le sud et l'ouest

être risqué de comparer des non-comparables.

Dans notre situation, le sens du biais relié au problème de l'endogénéité risque d'être différent que si nous avons utilisé directement les données québécoises pour effectuer notre modèle. Comme au Québec la très grande majorité de l'électricité utilisée à des fins résidentielles est de nature hydroélectrique, l'utilisation des variables instrumentales considérées ci-dessus (le prix du charbon et du gaz naturel) ne serait pas pertinente pour corriger l'endogénéité. À défaut de trouver une alternative convenable pour traiter l'endogénéité, il est primordial de s'attarder au sens du biais qu'elle engendre sur nos résultats. Nous cherchons à comprendre l'impact de la consommation d'électricité sur le prix puisque c'est cet aspect de la relation de simultanéité qui nous cause problème. Le biais engendré par la simultanéité viendrait-il augmenter ou diminuer l'élasticité-prix observée par notre modèle?

Au niveau agrégé pour le Québec, la quantité consommée au niveau résidentiel influe peu sur le prix de l'électricité, puisque c'est une institution publique ayant le mandat d'offrir un prix abordable et qui possède d'énormes capacités excédentaires; à ce niveau, le prix peut être considéré comme exogène à la consommation résidentielle. Au niveau individuel cependant, le sens du biais dépend de la structure tarifaire. Tel que mentionné précédemment, au Québec il y a seulement deux paliers de tarification et une redevance journalière fixe. En utilisant le prix moyen pour notre modélisation, celui-ci diminue fortement pour les premiers kWh consommés (puisque le coût de la redevance journalière est réparti en davantage d'unités de consommation) puis augmente très faiblement lorsque le deuxième palier de tarification est atteint à 33kWh. Dans ces circonstances, une augmentation de la consommation se traduit par une diminution du prix moyen (spécialement pour les premiers kWh consommés). Conséquemment, la structure tarifaire en place viendrait accentuer l'impact perçu par le modèle d'un changement dans les prix sur la consommation. Le biais serait donc du même signe que la dérivée partielle du prix sur la consommation (soit négatif) et viendrait accentuer l'élasticité-prix calculée par notre modèle.

Or, comme nous utilisons seulement les données moyennes du Québec afin d'effectuer l'extrapolation et que le modèle est créé à partir des données américaines, le sens du biais dépend de ces données et non des circonstances spécifiques au Québec. Le vaste nombre de juridictions et

territoires considérés aux États-Unis nous empêche d'étudier la question de la tarification en profondeur comme avec les données du Québec (soit en considérant la redevance journalière et les coûts variables) puisque la structure tarifaire change d'une région à une autre. Comme notre modèle calcule le long terme et que le marché de l'énergie est relativement dérégulé (donc suit, au moins en partie, les règles de l'offre et de la demande) aux États-Unis, nous pouvons supposer que la consommation du consommateur dépend du prix, mais aussi qu'à long terme le prix dépend de la consommation agrégée. Le biais induit par cette relation de simultanéité viendrait, à l'inverse du cas décrit pour le Québec, sous-estimer l'élasticité-prix des ménages pour l'électricité puisque cette augmentation des prix avec l'augmentation de la consommation va en contre-sens avec la consommation qui diminue à mesure que les prix augmentent. Autrement dit, en raison du biais potentiel d'endogénéité notre modèle aura tendance à sous-estimer l'élasticité-prix réelle. L'implication est que les ménages auront tendance à être plus sensibles aux changements dans les prix que ce que nos résultats témoignent.

3.7 L'élasticité dans la littérature

Dans la littérature, il semble y avoir une forte volatilité entre les élasticités calculées par les différents chercheurs. Pour les États-Unis, deux articles font une méta-analyse des recherches publiées au sujet de l'élasticité de la demande résidentielle d'électricité : les articles de Espey (2004) et de Miller (2016). Miller, plus particulièrement, tente de catégoriser les résultats obtenus à travers la méthodologie utilisée par les différents chercheurs. Dans cette sous-section nous décrivons brièvement les différents points importants retenus par ces auteurs.

Miller (2016) a trouvé que l'élasticité prix de l'électricité varie de -0.06 à -1.25 dans la littérature sur les États-Unis. Espey (2004) a trouvé que, sur 38 articles analysés qui traitent de l'élasticité de court terme, la médiane était de -0.28. L'*U.S. Energy Information Administration*, quant à elle, évalue l'élasticité de long terme à -0.40 et celle de court terme entre -0.12 et -0.21. Il importe plus particulièrement, pour notre analyse, d'étudier les facteurs influençant l'élasticité calculée afin de bien comprendre l'impact de notre modèle sur les résultats obtenus. Miller (2016) catégorise ces facteurs en sept catégories : la période d'estimation, la tendance du prix de l'électricité durant cette période, le niveau d'agrégation des données, l'accessibilité aux variables explicatives, la variation identifiée dans les prix à travers le temps et l'espace, la prise en compte

de l'hétérogénéité dans les variables ainsi que l'utilisation de variables instrumentales²⁰. Nous tenons compte de ces considérations et justifions nos décisions en égard à celles-ci dans la description de notre modèle aux sections 5 et 6. Toujours pour les États-Unis, Fell (2010) calcule une élasticité prix relativement élevée. Cet auteur a calculé l'élasticité dans 4 régions : le nord, le sud, l'ouest et le *mid-west*. Les élasticités prix obtenues sont, respectivement pour chaque région, -0.824, -1.02, -0.879 et -0.964. L'auteur explique ces résultats relativement élevés par le fait d'avoir utilisé le prix moyen plutôt que marginal. Étonnamment, il trouve que l'élasticité prix n'est pas statistiquement différente selon les différents groupes de revenu mais varie de façon significative selon la région. Ces différences régionales systématiques témoignent de l'omission de certaines variables explicatives pouvant les expliquer. La qualité et la puissance des analyses demeurent très dépendantes des observations disponibles. Reiss et White (2005) obtiennent quant à eux une élasticité de court terme de -0.39 pour l'ensemble des ménages mais de -1.02 lorsqu'ils considèrent seulement les ménages dont le système de chauffage est électrique. Ceci témoigne, comme nous le voyons dans nos résultats, de la forte incidence des systèmes de chauffage électrique sur la consommation d'électricité.

Pour le Québec, Bernard (2010) obtient une élasticité prix de -0.51 et de -1.32 pour le court et long terme respectivement. Quant à Robert (2005), elle a obtenu une élasticité de -0.81 pour le court terme, mais son modèle ne lui permettait pas d'obtenir un estimé pour le long terme. La méta-analyse d'Espey (2004) reporte une élasticité prix variant de 0.076 à -2.01 pour le court terme et de -0.07 à -2.5 pour le long terme dans la littérature sur les États-Unis. Les études pour le Québec semblent donc montrer une élasticité passablement élevée pour la province canadienne comparativement aux États-Unis. De prime abord, ceci semble surprenant dans la mesure où le prix de l'électricité occupe une part beaucoup plus modeste des dépenses des ménages; ceux-ci devraient donc se préoccuper beaucoup moins de l'évolution du prix. Une explication potentielle est que comme les prix de l'électricité au Québec varient très peu à travers le temps, la consommation évolue plus rapidement (pour des raisons externes telles que le changement naturel dans les habitudes de consommation, la meilleure isolation des maisons modernes, etc.) que les

²⁰ Les considérations énumérées dans ces deux articles sont trop nombreuses et compactes pour toutes les énumérer dans cette revue de la littérature. Une personne intéressée à étudier plus en profondeur l'impact de la méthodologie sur les résultats obtenus devrait lire ces deux articles.

prix. Le faible nombre d'études pour le Québec et la difficulté d'obtenir des bases de données convaincantes nous empêchent cependant de tirer d'autres conclusions à ce sujet. L'éventuelle comparaison avec notre propre recherche est d'autant plus fastidieuse que la majorité des études s'intéressent seulement à l'élasticité prix de court terme, dont l'estimation est plus directe et moins assujettie aux hypothèses des chercheurs.

4. Bases de données

4.1 Sélection de la base de données pour les États-Unis

La méthode d'analyse que nous utilisons nous emmène donc à nous intéresser aux données américaines. Deux bases de données ont retenu notre attention : le *Consumer Expenditure Survey* (CEX) provenant du *Bureau of Labor Statistics* ainsi que le *Residential Energy Consumption Survey* (RECS) provenant du *U.S. Energy Information Administration*. Tel que le mentionne Fell (2010) dans son article, ces deux bases de données ont des avantages distincts. Le CEX collecte des données mensuelles sur les dépenses et certaines caractéristiques pour 7 500 ménages, pour un total de près de 90 000 observations annuellement. Le RECS offre de l'information sur près de 12 000 ménages, mais est réalisé environ une fois aux cinq ans. Le CEX informe seulement sur les dépenses en électricité, alors que le RECS contient à la fois les dépenses et la consommation. Le CEX renseigne sur l'état de résidence des ménages considérés, alors que le RECS agrège les données géographiques en zones de recensement²¹. Alors que la méthodologie de Fell (2010) l'a conduit à utiliser le CEX, l'objectif de notre recherche nous emmène à privilégier le RECS. Comme nous faisons l'hypothèse qu'en utilisant la coupe transversale nous approximations les comportements de long terme, les données annuelles du RECS nous sont davantage utiles que les données mensuelles du CEX puisque nous évitons d'avoir à nous soucier de la saisonnalité. Le RECS nous permet également d'étudier avec plus de précision et de fiabilité l'impact des zones géographiques sur la consommation puisque la quantité de ménages sondés est supérieure qu'avec le CEX, mais les zones géographiques disponibles sont plus larges (10 divisions géographiques plutôt que l'ensemble des états avec le CEX). Ceci aurait été désavantageux si notre attention était dirigée exclusivement vers les ménages américains puisqu'il nous est impossible d'étudier indépendamment chaque état, mais dans le contexte de notre recherche c'est tout à fait convenable. Finalement, le fait que le RECS contienne des données à la fois sur la consommation et sur les dépenses en énergie représente un avantage indéniable pour l'application du modèle aux données québécoises. Ceci nous permet en partie d'éviter d'avoir à employer des variables instrumentales à la fois pour le prix et pour la quantité consommée, comme ce fut le cas pour Fell (2010) qui avait

²¹ Dix zones de recensement, recouvrant l'ensemble du territoire américain, sont considérées par cette base de données

seulement les dépenses de consommation et un indice des prix provenant d'une source externe.

4.2 Fiabilité de la base de données

Une considération importante est la fiabilité de la base de données. Bien que tout ensemble de données soit susceptible de contenir des erreurs statistiques ou un biais dans les valeurs, les sondages sont particulièrement sensibles aux erreurs humaines puisque les réponses dépendent de la capacité et de la volonté du ménage sondé à transmettre une réponse valide. L'idéal demeure que l'agence concernée recueille directement les données, plutôt qu'à travers l'intermédiaire du consommateur.

Concernant le RECS, qui est effectué par l'*Energy Information Administration*, la méthodologie de l'enquête a été élaborée de façon à optimiser la représentativité des ménages américains selon les différentes régions. Au niveau des données sur l'énergie, deux sondages ont été utilisés : le *Household Survey* et le *Rental Agent Survey*. Le deuxième sondage est utilisé lorsque les ménages ne sont pas certains de pouvoir bien répondre aux questions, et permet d'avoir des résultats plus fiables à travers le soutien aux sondés. Ces données sont également comparées avec celles des fournisseurs en électricité afin de détecter toute divergence significative entre la consommation réelle et reportée à un niveau agrégé. Pour s'assurer que l'échantillon soit sélectionné de façon aléatoire et qu'il soit représentatif de la population, l'organisme utilise la méthode de la *conception de probabilité de zone à plusieurs niveaux*, qui crée des groupes d'échantillon à l'intérieur desquels les observations sont à nouveau regroupées aléatoirement²². En définitive, les précautions prises par l'EIA dans l'élaboration de cette base de données nous permettent d'avoir une relative confiance en la fiabilité des microdonnées recueillies²³.

4.3 Accessibilité des données pour le Québec

Pour le Québec, les informations à notre disposition sont relativement lacunaires. La seule base de microdonnées qui nous est accessible est celle de l'enquête sur les ménages et l'environnement (EME) de 2009 compilé par Statistiques Canada. Celle-ci mesure les pratiques et les comportements des ménages canadiens ainsi que plusieurs indicateurs reliés à l'environnement.

²² Traduit de l'anglais : multistage area probability design

²³ <https://www.eia.gov/consumption/residential/reports/2009/methodology-end-use.php>. Consulté le 9/11/2016

Pour notre recherche, les variables disponibles dans l'EME ne sont pas suffisantes pour construire un modèle satisfaisant. Seuls le fait de posséder un système de climatisation, de chauffage et le fait d'être propriétaire de son logement sont disponibles dans cette base de données et utilisés dans notre modèle. Il aurait été fort intéressant d'avoir également accès à la consommation d'électricité ou au coût total de leur consommation. Pour faire l'extrapolation, l'EME est cependant fort utile puisqu'il nous permet de calculer la valeur moyenne de ces variables pour l'ensemble du Québec. Pour l'extrapolation, il n'est en effet pas nécessaire d'avoir les microdonnées. Cette base de microdonnées servira tout de même à effectuer un test préliminaire, soit une validation croisée. Tous les détails de l'utilisation de cette base de données sont expliqués dans la section 6.

4.4 Manipulation des données

4.4.1 Utilisation du prix moyen

Comme il a été mentionné à la section 3, un nombre croissant d'articles étudiant le comportement de consommation d'électricité par les ménages semble indiquer que le prix moyen est un meilleur indicateur de la demande des ménages que le prix marginal²⁴. Nous faisons également cette hypothèse. En pratique, il nous est impossible de modéliser le prix marginal de l'électricité pour chaque ménage puisque nous considérons plusieurs zones géographiques à l'intérieur desquelles la structure tarifaire n'est pas la même d'un ménage à un autre. Concernant le prix moyen de l'électricité, deux options s'offrent à nous. À travers le RECS, il est possible de diviser les dépenses totales (\$) en électricité par la quantité consommée d'électricité (kWh) pour chaque ménage afin d'obtenir le prix moyen payé en 2009 pour chaque observation distincte. Également, nous avons calculé le prix moyen de l'électricité pour chaque division de recensement à partir des données agrégées de l'EIA. Comme la plus petite zone géographique avec le RECS est la division et l'état pour l'EIA, nous avons dû manipuler les données sur les prix de l'électricité de l'EIA afin de les agréger au niveau des divisions. Pour ce faire, nous avons pondéré le prix moyen de l'électricité pour chaque état par le nombre de ménages qui y vivent. Par exemple, la Division de recensement Moyenne-Atlantique contient le New-Jersey, New-York et la Pennsylvanie. Nous avons pondéré le prix moyen de l'électricité pour chacun de ces états par la population totale vivant dans chaque

²⁴ Voir les articles de Shin(1985) et de Borenstein(2009) qui étudient cette question

état, de façon à obtenir le prix moyen en Moyenne-Atlantique. Cette méthode d'agrégation nous semble fiable puisque l'échantillonnage du RECS tient lui aussi en compte de la taille de la population pour chaque état. En comparant les deux variables de prix, nous constatons qu'ils sont tous les deux similaires. L'agrégation des prix que nous avons effectuée demeure beaucoup plus imprécise et ne permet pas de nuancer les résultats au-delà de la division géographique. Pour cette raison, nous utilisons la variable des prix qui était déjà présente dans la base de données.

En analysant ces deux prix provenant de sources différentes (l'un étant calculé en divisant les dépenses en électricité par la consommation et l'autre en obtenant les prix moyens par division), nous avons dégagé un fait important pour notre analyse. Le prix moyen individuel varie énormément au sein d'une même division de recensement. Ceci sert notre cause puisque l'objectif, en utilisant les données américaines, est de contourner la faible variabilité des prix de l'électricité au Québec. Ceci ne capte qu'une partie de la variabilité puisque dans chaque zone distincte, il y a plusieurs fournisseurs d'électricité chargeant des prix différents. De même, le prix moyen varie fortement selon le ménage puisque les structures tarifaires sont rarement linéaires : le prix moyen pour le ménage est endogène à la consommation individuelle²⁵. Nous concluons donc que le prix moyen par ménage que nous obtenons est une représentation suffisamment fidèle de la réalité pour que nous l'utilisions dans notre modèle, d'autant plus que cette variable n'est pas agrégée comme le prix moyen par état. Les données recueillies inhérentes au prix sont, à notre connaissance, les plus fiables que nous puissions trouver pour les États-Unis pour les besoins de notre recherche. Ce constat va dans la même direction que Fell (2010), qui a décrit les mérites du *RECS* pour modéliser la demande résidentielle d'électricité.

4.4.2 Manipulation des données et variables explicatives

Plusieurs manipulations des données ont été effectuées afin d'améliorer la fiabilité de la base de données utilisée. D'abord, nous avons préféré ne pas tenir compte des ménages se trouvant aux extrêmes relativement à leur consommation d'électricité. Nous avons donc supprimé 1% des ménages dont la consommation est la plus faible, et 1% dont la consommation est la plus élevée.

25 Voir Hadsell & Al. (2004) pour plus d'informations sur la variabilité et la volatilité des prix de l'électricité dans le secteur résidentiel aux É.U.

Ceci a l'avantage, outre d'éliminer les données aberrantes, d'améliorer la symétrie de la distribution des données. Nous avons également effectué cette opération pour les ménages dont le prix moyen reporté pour l'électricité est supérieur à 0.292\$/kWh et inférieur à 0.055\$/kWh, ce qui équivaut à 0.25% des observations totales. Nous avons enlevé moins d'observations pour le prix que pour la quantité consommée car cette dernière variable était beaucoup plus dispersée et asymétrique dans l'échantillon. Suite à ce tronquage, il reste 11 842 observations. Ces manipulations sont cohérentes avec ce qui est fait dans la littérature. Les illustrations 3 et 4 en annexe illustrent la densité observée pour le prix moyen de l'électricité par ménage et la consommation d'électricité, qui semble positivement asymétrique dans les deux cas. Cette mise de côté d'une partie de l'échantillon disponible a comme seul impact négatif la diminution du nombre d'observations, mais comme nous avons accès à un très grand nombre d'observations, cet inconvénient est marginal. En contrepartie, dans la mesure où nous nous intéressons principalement aux ménages dont le prix moyen de l'électricité ne se situe pas dans les extrêmes, nous avons maintenant une meilleure représentativité des groupes qui nous intéressent.

4.4.3 Variable instrumentale : prix du gaz naturel et du charbon

Alors qu'au Québec la production d'électricité est générée à 99% par l'hydroélectricité, les intrants sont beaucoup plus divers aux États-Unis. Ainsi, en 2014, près de 40% de l'électricité était générée par le charbon, près de 28% par le gaz naturel, 19% par le nucléaire et moins de 7% par l'hydroélectricité dans l'ensemble du territoire américain. Même s'il s'avérait que ces énergies non-renouvelables étaient théoriquement de bonnes variables instrumentales pour remplacer le prix de l'électricité (de façon à corriger l'endogénéité dans le modèle), il nous est impossible de les utiliser pour la prévision hors-échantillon puisque leur effet sur le secteur de l'électricité est totalement différent entre les États-Unis et le Québec. Une considération tout aussi rédhitoire est la difficulté de retracer les *intrants* (notamment les combustibles fossiles) et l'*extrant* (l'électricité). Le marché énergétique américain étant fort complexe, les données à notre disposition permettent à peine de capter le pouvoir explicatif du prix de ces *intrants* pour expliquer le prix de l'électricité; pour une compagnie donnée qui dessert un territoire spécifique, le prix du gaz naturel et du charbon expliquent à peine les variations dans le prix de l'électricité. Pour ces raisons, nous n'utilisons pas de variable instrumentale pour corriger l'endogénéité potentielle entre le prix et la consommation. La littérature sur le sujet n'abonde pas sur les variables instrumentales

alternatives, et peu d'articles tentent réellement de corriger cette endogénéité. Le seul que nous ayons trouvé qui traitent d'un sujet analogue au notre est Fell.

4.4.4 Mauvais contrôle: exclusion de la taille de la maison

Une dernière considération importante est la notion de mauvais contrôle²⁶. Cette dernière s'applique aux variables explicatives qui sont propices à être corrélées à d'autres variables explicatives. Ainsi, nous avons omis la variable relative à la taille de la maison. Celle-ci est statistiquement significative pour prédire la quantité d'électricité consommée. Or, le problème du mauvais contrôle s'applique dans la mesure où les ménages prennent en considération, du moins en théorie, le prix attendu de l'électricité lorsqu'ils prennent la décision d'acheter une maison. Un prix de l'électricité systématiquement plus élevé pourrait être un incitatif à acheter une maison plus petite et donc moins énergivore. Les tests que nous avons effectués nous montrent qu'il y a bel et bien un effet significatif entre les deux. Dans ces circonstances, toute variable explicative pouvant être influencée par le prix de l'électricité doit être omise de la régression étudiant la quantité consommée d'électricité afin d'éviter un biais et une mauvaise interprétation du coefficient associé à la variable prix. Seule la variable explicative qui nous intéresse, en l'occurrence le prix de l'électricité, doit avoir un effet indépendant sur la variable d'intérêt (la consommation d'électricité).

4.4.5 Stratification selon les paramètres

L'objectif de cette recherche est de prédire comment les ménages québécois réagiront à des changements structurels dans les prix de l'électricité sur le long terme. L'hétérogénéité des ménages quant aux déterminants de leur décisions de consommation implique qu'il est difficile, voire impossible, de comprendre l'impact du prix sur la consommation avec une seule régression pour un sous-groupe spécifique. Que ce soit le lieu géographique, le nombre d'individus dans le ménage ou le revenu, ce sont tous des éléments ayant une influence sur les comportements de consommation. Afin de tenir compte de cette considération, nous avons opté pour la stratification des ménages contenus dans notre échantillon. Comme il n'existe pas de formule miracle pour déterminer comment stratifier notre échantillon, nous avons effectué de nombreuses

²⁶ Traduit de l'anglais : bad control

catégorisations de façon à voir comment la sélection d'un groupe spécifique affecte notre réponse finale. Notamment, nous analysons l'impact du prix, pour chaque région, selon la classe socio-économique des ménages et le fait qu'ils possèdent ou non un système de chauffage électrique. Les analyses et les détails inhérents à nos classifications se situent à la section 6. Cet effort de stratification permet d'enrichir notre compréhension des résultats et de l'impact des variables sur la sensibilité aux prix. Par exemple, dans l'optique où le gouvernement québécois chercherait potentiellement à calculer le consentement à payer ou à recevoir des résidents pour compenser une hausse des prix de l'électricité, la stratification selon le revenu des ménages permet d'apporter une nuance supplémentaire au projet.

4.5 Données québécoises

Notre hypothèse fondamentale étant qu'il est possible d'extrapoler l'élasticité prix de long terme de l'électricité au Québec grâce au modèle créé avec les données américaines, il nous faut impérativement des données représentatives des ménages québécois sur les différents paramètres retenus dans notre modèle (tels que le revenu et le nombre d'individus dans le ménage). Idéalement, l'utilisation de microdonnées québécoises permettrait de faire une riche analyse de l'effet des variables sur la consommation et l'élasticité, par exemple en étudiant comment la distribution des revenus a un impact sur la sensibilité. Or, ces données ne sont pas accessibles. Nous utilisons donc les valeurs moyennes pour le Québec. Celles-ci permettent de faire des analyses plus limitées mais permettent tout de même de faire l'extrapolation désirée. À la section 6, nous mettons l'accent sur l'étude des variables explicatives pour les États-Unis et générons quelques constats qui peuvent, dans une certaine mesure, être comparés à ce que nous pourrions nous attendre pour le Québec.

L'étude des États-Unis nous permet d'obtenir tous les comportements que nous désirons comprendre et de les modéliser. Pour le Québec, il suffit dès lors d'imputer la valeur moyenne des paramètres retenus au modèle créé avec les données américaines afin d'extrapoler les comportements de consommation des québécois lorsque nous prenons en compte l'hypothèse de convergence comportementale décrite précédemment. Par exemple, le modèle semi-paramétrique utilisé pour les États-Unis nous informe sur l'élasticité-prix de la demande d'électricité selon le niveau de revenu des familles. En imputant le revenu total médian des familles québécoises (qui

était de 64 420\$ pour 2009) à notre modèle, nous convergions vers la sensibilité éprouvée par les ménages québécois en moyenne. Nous utilisons les diverses bases de données de Statistique Canada ainsi que des sources connexes pour obtenir ces informations. Une source importante d'informations est la base de microdonnées de *l'enquête sur les ménages et l'environnement*. Celle-ci n'est pas publiquement disponible et a nécessité de faire une demande auprès de l'*Initiative de démocratisation des données* (Statistique Canada). Elle nous informe sur trois variables explicatives; la possession par le ménage de leur logement, d'un système de chauffage électrique ainsi que d'un système de climatisation. Cette base de données se veut relativement représentative de la société québécoise. Les auteurs ont effectué un test d'estimation des erreurs d'échantillonnage. Ils ont construit un coefficient de variation (CV) pour chaque province, qui permet d'estimer la représentativité de l'échantillon dans chaque province. Les lignes directrices fournies par les auteurs pour estimer la représentativité sont exprimées dans l'illustration 6 ci-dessous.

Illustration 6

Indice d'appréciation de la représentativité des observations

Coefficient de variation (CV)	Appréciation de la représentativité
16,5% et moins	Estimation acceptable
16,6% à 33,3%	Estimation limite qui nécessite une mise en garde
33,3% et plus	Estimation inacceptable

Source : *enquête sur les ménages et l'environnement*

Pour le Québec ils obtiennent un coefficient de variation de 2,7% ce qui est plus bas que pour la majorité des autres provinces canadiennes. Nous considérons donc que les informations obtenues s'avèrent être fidèles à la population québécoise. L'illustration 7 ci-dessous décrit ces variables de cette source que nous utilisons.

Illustration 7

Variables pour lesquelles les microdonnées sont accessibles

Variables explicatives	Explications
chauffage	Le ménage possède-t-il un système de chauffage électrique? (0=oui)
kownrent	Le ménage réside dans le logement en est-il propriétaire? (0=oui)
climatiseur	Le ménage possède-t-il un système d'air climatisé électrique? (0=oui)

4.6 Valeur empirique des variables

Pour que notre extrapolation soit fiable, il faut que la valeur des variables obtenues à travers nos observations soit dans le même ordre de grandeur que ce que nous pouvons trouver pour le Québec. Autrement, à mesure que les valeurs s'éloignent il devient plus difficile pour le modèle de capter les comportements et préférences pour des cas qui ne sont pas les mêmes que ceux fournis. Dans cette section-ci, nous effectuons une brève description chiffrée des variables, selon la région, et les comparons aux valeurs moyennes retrouvées pour le Québec. L'illustration 8 ci-dessous représente l'ensemble des variables utilisées et étudiées.

Illustration 8

Variable explicative	description
lavgelecprice	Le log du prix de l'électricité (<i>cents/kWh</i>)
locataire	Le fait d'être propriétaire ou non du logement
elwarm	Le fait de posséder ou non un système de chauffage électrique
aircond	Le fait de posséder ou non un système de climatisation
revenu	Le revenu, stratifié en 24 catégories
nhsldmem	Le nombre d'individus dans le ménage
Hdd65	Le degré jour de chauffage (avec le seuil à 18 degrés <i>celsius</i>)
Cdd65	Le degré jour de climatisation (avec le seuil à 18 degrés <i>celsius</i>)

L'équation (7) ci-dessous est le modèle de base (que nous complexifions graduellement) qui reprend ces variables explicatives.

$$lkwh = \beta_1 lavgelecprice^1 + \beta_2 locataire + \beta_3 elwarm + \beta_4 aircond + \beta_5 revenu + \beta_6 nhslmem + \beta_7 hdd65 + \beta_8 cdd65 + w \quad (7)$$

D'abord, une analyse préliminaire semble montrer que les valeurs des variables sélectionnées varient fortement d'une division à une autre. Dans le tableau récapitulatif ci-dessous, soit l'illustration (9), nous mettons en exergue les valeurs moyennes de chaque variable pour chacune des dix divisions américaines et pour le Québec.

Illustration 9

valeur moyenne des ménages américains pour les variables explicatives sélectionnées, selon la division géographique												
	div.1	div.2	div.3	div.4	div.5	div.6	div.7	div.8	div.9	div.10	moyenne É.U.	moyenne Québec
avgelecprice (\$/kWh)	0,124	0,131	0,135	0,14	0,123	0,11	0,112	0,13	0,12	0,129	0,126	0,072
locataire (%)	73%	73%	68%	67%	66%	70%	68%	71%	71%	66%	68%	77%
elwarm (binaire)	43%	40%	39%	41%	49%	52%	57%	56%	49%	71%	51%	39%
aircond (binaire)	43%	74%	76%	79%	89%	85%	92%	89%	95%	95%	82%	47%
revenu (indice)	14	14	14	14	13	13	12	12	13	12	13	11
nhslmem (indice)	2,5	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,7	2,7	2,7	2,5
hdd65 (indice)	6787	6671	5897	5247	4265	3343	2874	2234	2215	1063	4140	8314
cdd65 (indice)	208	387	536	724	1092	1413	1708	2091	2467	3517	1417	301

Les données semblent relativement différentes. Notamment, le prix moyen de l'électricité au Québec équivaut à un peu plus de la moitié des prix aux États-Unis. Les variables *avgelecprice*, *aircond*, *hdd65* et *cdd65* sont de prime abord les plus différentes entre la province et les É.U. En annexe, les illustrations 5 à 8 présentent graphiquement l'histogramme pour chacune de ces variables (à l'exception d'*aircond*, *locataire* et *elwarm*, qui sont des variables dichotomiques). Les lignes verticales rouges représentent la valeur moyenne de la variable considérée pour le Québec.

En concordance avec ce qui est retrouvé en annexe, le prix de l'électricité et la température (*hdd65* et *cdd65*) sont les variables qui sont les plus différentes entre les deux régions considérées. D'abord, comme le prix de l'électricité au Québec figure parmi les plus bas au monde, il est difficile de trouver des observations comparables. Nous constatons tout de même qu'une partie

modeste mais non négligeable des ménages aux États-Unis ont des prix moyens comparables à ce qui se retrouve au Québec. Il faut également considérer que le prix au Québec varie également (en fonction de la consommation moyenne). Les observations pour le Québec sont donc aux alentours, sans être limitées à, la ligne verticale rouge. Pour les besoins de notre recherche, notre modèle aurait gagné en précision si les prix moyens retrouvés aux États-Unis étaient plus semblables à ce que nous constatons pour le Québec, mais ce n'est pas un frein puisqu'il y a quand même un recoupement.

Concernant la température, nous constatons que le Québec se situe aux extrémités comparativement aux observations américaines. Il y a tout de même un recoupement. En termes de climat, la division 1 (la Nouvelle-Angleterre) est la plus similaire au Québec, bien qu'il y fasse plus chaud. Toujours à ce niveau, les premières divisions sont plus proches alors que les divisions 6 à 10 sont complètement différentes. Ces variables demeurent tout de même fortement utiles et fiables dans la mesure où les variations de température varient fortement au Québec également. Si nous assumons que l'effet de la température sur la consommation ou la sensibilité aux prix est relativement linéaire, la précision du modèle sera peu ou pas affectée.

Les données sont à un niveau de proximité acceptable entre le Québec et les États-Unis. Il semble y avoir une meilleure concordance dans les variables, notamment en termes de température, entre les cinq premières divisions et le Québec. Le prix et la température sont les variables qui divergent le plus entre les deux régions, sans que ces différences soient trop importantes pour causer un réel dommage à notre analyse. Il aurait tout de même été préférable qu'elles soient un peu plus similaires, puisque les interprétations du modèle pour les données extrêmes ont tendance à être moins fiables et plus prédictives.

Finalement, il convient de discuter d'un potentiel biais relié à l'omission de variables explicatives importantes. De par la nature de notre extrapolation, qui nécessite la conversion des données des deux régions, la sélection des variables explicatives pose un défi particulier car elles doivent être congruentes pour le Québec et les États-Unis. L'idéal est, comme dans toute régression, d'utiliser le plus grand nombre de variables explicatives et importantes qu'il est possible de le faire. Dans notre situation, il s'avère que les variables explicatives retenues expliquent une part importante de la variation dans la consommation d'électricité, soit 48% selon le R^2 .

5. Méthodologie :

5.0 Introduction

Afin de déterminer quel modèle permettrait d'estimer au mieux l'impact du prix sur la consommation d'électricité, il faut comprendre et analyser les données et les variables explicatives à notre disposition. Dans la mesure où nous effectuons une prévision hors-échantillon, l'obtention de nos résultats est précédée de nombreuses étapes préalables. Dans cette sous-section, nous passons en revue, de façon détaillée, toutes les étapes menant à la réponse finale.

Une fois le modèle construit, il suffit de faire une prédiction hors-échantillon en imputant les valeurs numériques moyennes des différents paramètres du Québec dans le modèle créé avec les données américaines. Ce faisant, nous extrapolons la fonction de demande de long terme d'électricité des ménages québécois à l'aide du modèle créé avec les données américaines. En faisant l'hypothèse qu'en contrôlant pour les variables explicatives principales (telles que le prix, la température et la possession d'un système de chauffage) le comportement des résidents américains et québécois est comparable, nous pouvons calculer l'élasticité prix de long terme (extrapolée) pour le Québec. La première étape, dont nous discutons ci-dessous, est de créer notre modèle et de l'enrichir graduellement.

5.1 Modélisation du prix de l'électricité par l'approche semi-paramétrique

À la section 3.5.5, nous avons déterminé quelles variables explicatives à utiliser pour faire notre recherche. L'étape subséquente est d'analyser notre variable explicative clé : le prix. Comment le modéliser de façon à représenter autant que possible la réalité? Dans la littérature, beaucoup de chercheurs assument que la consommation d'électricité est log-linéaire par rapport au prix. Nous cherchons à déterminer si c'est réellement le cas. L'illustration 9 en annexe montre le nuage de points mettant en relation la consommation et le prix de l'électricité. Il n'est pas clair que la prédiction par régression log-linéaire soit la plus adaptée pour étudier cette relation. Nous utilisons

le modèle semi-paramétrique afin d'avoir une idée de la forme fonctionnelle la plus fidèle de la relation entre le prix et la consommation d'électricité, lorsque les autres variables explicatives sont tenues constantes. L'approche semi-paramétrique permet de faire une prédiction des comportements observés sans avoir à borner le modèle à une fonction spécifique. La fonction semi-paramétrique fait, en principe, du sur-ajustement. Elle est alors très réactive aux données individuelles et tend à perdre une partie de ses pouvoirs de prédiction sur de nouveaux échantillons puisqu'en étant réactive elle a tendance à capter le bruit. Elle permet cependant de comprendre avec une grande précision l'impact de la variable désirée (dans notre cas le prix) sur la variable étudiée (la consommation). Cette propriété nous permet d'utiliser le modèle semi-paramétrique afin d'avoir une compréhension beaucoup plus fine de la relation entre ces deux variables, toutes autres choses étant égales par ailleurs. Or, elle permet seulement de nous orienter vers une forme fonctionnelle qui lui ressemble. Elle ne peut être utilisée telle quelle pour faire l'extrapolation puisqu'elle ne contient pas de forme fonctionnelle. Dans la sous-section ci-dessous, nous décrivons et analysons le modèle semi-paramétrique à double résidus de Robinson (1988) pour nos données américaines.

L'idée derrière ce modèle est que tous les variables explicatives ne sont pas représentées de façon optimale par un coefficient numérique simple. Une régression linéaire ne suffit pas toujours pour illustrer l'effet complexe d'une variable explicative. Par définition, la régression semi-paramétrique permet au coefficient d'une des variables explicatives de ne pas être borné par un espace vectoriel défini. C'est donc utilisé lorsqu'un des éléments du modèle suit une forme fonctionnelle inconnue et qu'on ne veut pas lui imposer une forme arbitraire, telle que la forme linéaire ou log-linéaire. Quant aux autres paramètres, ils sont traités exactement comme dans un modèle paramétrique traditionnel. C'est donc un modèle partiellement linéaire. Considérons le modèle général ci-dessous :

$$y_i = \theta_0 + x_i\theta + f(z_i) + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, N \quad (8)$$

où y_i est la valeur prise par la variable dépendante pour l'individu i (la consommation d'électricité), x_i est le vecteur colonne des caractéristiques de l'individu i (tels que le revenu, le lieu de résidence et le nombre d'individus dans la famille), θ_0 est un terme constant et ε_i est le

résidu, qui est supposé avoir une moyenne de 0 et une variance constante de σ^2 . z_i représente la variable explicative qui fait partie de l'équation mais pour laquelle nous doutons de l'hypothèse de la linéarité. Dans nos circonstances, c'est le prix de l'électricité. La fonction $f(\cdot)$ capte la non-linéarité de cette variable mais sa forme exacte ne peut être résolue qu'empiriquement. Nous estimons ce modèle grâce à la méthode des doubles résidus de Robinson (1988). L'intuition derrière cette méthode est que nous cherchons à obtenir des estimateurs du vecteur des coefficients des variables explicatives, de façon à contourner le fait que nous ne connaissons pas l'espérance conditionnelle de celles-ci par rapport à notre variable non-linéaire (le prix). Il faut d'abord soustraire de l'équation (8) l'espérance conditionnelle de l'équation (8), de façon à obtenir :

$$y_i - E(y_i|z_i) = (x_i - E(x_i|z_i))\theta + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, N \quad (9)$$

Si les espérances conditionnelles sont connues, il est alors possible d'estimer le vecteur des coefficients, θ , avec la méthode des moindres carrés ordinaires. Or, comme nous ne connaissons pas l'impact individuel espéré de z_i (le prix de l'électricité) sur x_i (les autres variables explicatives) et y_i (la quantité d'électricité consommée), il faut un nouvel estimateur consistant pour chaque variable y_i et x_{ki} , où $k = 1, \dots, K$ est l'index pour chaque variable explicative qui fait partie du modèle de façon paramétrique (dans notre cas, toutes les variables explicatives à l'exception du prix de l'électricité, qui sera déterminé de façon non-paramétrique). Ces estimateurs prennent la forme ci-dessous. Pour la consommation d'électricité et les variables explicatives évaluées de façon paramétriques, nous avons respectivement :

$$y_i = m_y(z_i) + e_{1i} \quad (10)$$

$$x_{ki} = m_{xk}(z_i) + e_{2ki} \quad (11)$$

En remplaçant les espérances conditionnelles de l'équation (9) par (10) et (11), nous obtenons :

$$y_i - \hat{m}_y(z_i) = (x_i - \hat{m}_x(z_i))\theta + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, N \quad (12)$$

Il devient ainsi possible d'isoler le vecteur des coefficients et d'obtenir :

$$\hat{\theta} = \left(\sum_i (x_i - \hat{m}_x(z_i))'(x_i - \hat{m}_x(z_i)) \right)^{-1} \left(\sum_i (x_i - \hat{m}_x(z_i))'(y_i - \hat{m}_y(z_i)) \right) \quad (13)$$

Finalement, comme le vecteur θ a été estimé, il suffit d'estimer la relation non-linéaire entre y_i et x_i de façon non-paramétrique à partir de l'équation ci-dessous :

$$y_i - x_i \hat{\theta} = \theta_0 + f(z_i) + \varepsilon_i, \quad i=1, \dots, N \quad (14)$$

Il est possible d'estimer numériquement ce modèle à partir du logiciel utilisé pour faire notre recherche (Stata).

L'utilisation du modèle semi-paramétrique a plusieurs avantages mais dans nos circonstances il n'est pas possible de l'utiliser pour effectuer l'extrapolation avec les données québécoises; comme $f(z_i)$ suit une forme non-fonctionnelle, la forme perd son pouvoir prédictif dès lors que nous sortons de l'échantillon utilisé pour créer la fonction. Bien que nous ne puissions l'utiliser pour faire la transposition avec les données québécoises, cette technique nous donne un aperçu de la relation brute de la consommation d'électricité et de son prix, toutes autres choses étant égales par ailleurs. Cette dernière variable étant celle que nous cherchons à isoler et à comprendre en priorité, l'illustration 10 en annexe montre visuellement cette relation lorsque le log du prix n'est pas borné par une forme fonctionnelle. Elle indique le comportement de consommation d'électricité des américains en fonction du prix de l'électricité lorsque ces variables sont exprimées en logarithmes. Nous pouvons d'ores et déjà voir que la relation est inversement proportionnelle, et que le comportement des ménages semble peu élastique. Il demeure que de simplement se fier à ce support visuel est insuffisant dès lors que nous voulons déterminer la relation. Le modèle semi-paramétrique permet de tester quelle forme est optimale pour approximer ces données, chose que l'œil peut difficilement déterminer. Ce test requière une étape supplémentaire que nous décrivons dans la sous-section ci-dessous. Bien que la fonction semi-paramétrique semble se rapprocher davantage d'une relation log-linéaire pour les points/ménages non-extrêmes dans le prix payé pour l'électricité (toujours exprimé en log), la relation est beaucoup moins évidente lorsque nous considérons les données situées aux extrémités. Voyons ce qu'il en est.

5.1.1 Approximation polynomiale

Un inconvénient majeur est que la fonction semi-paramétrique n'a pas de forme prédéfinie, ce qui s'avère être un obstacle pour notre recherche puisque nous devons connaître précisément la

fonction afin d'effectuer la transposition pour estimer l'élasticité au Québec. Une façon standard de tester si un modèle paramétrique est relativement fidèle, comparativement à un estimateur non-paramétrique, est d'utiliser un bootstrap à travers un rééchantillonnage des données. Les déviations au carré entre les deux estimateurs permettent de créer une statistique de test. Mammen et Hardle(1993) et argumente que dans ces circonstances le bootstrap résiduel traditionnel n'est pas valide dès lors qu'il y a de l'hétéroscédasticité dans le modèle

Nous utilisons le test de Hardle et Mammen, qui part du même principe que celui brièvement décrit ci-dessus. Il permet de déterminer s'il est approprié d'utiliser une approximation paramétrique de la fonction semi-paramétrique. La statistique de test est représentée par :

$$T_n = N\sqrt{h} \sum_{i=1}^n \hat{f}(z_i) - \hat{f}(z_i, \theta))^2 * \pi(.) \quad (15)$$

où $\hat{f}(z_i)$ représente l'estimation de la fonction non-paramétrique estimée à travers l'équation (8). $\hat{f}(z_i, \theta)$ est une estimation de la fonction paramétrique qui est encore inconnue et que nous cherchons à obtenir. h représente la bande passante utilisée et $\pi(.)$ est la fonction de pondération qui vient mettre un poids à chaque différence au carré des fonctions paramétriques et non-paramétriques considérées afin d'améliorer l'estimation²⁷. Nous utilisons les valeurs numériques génériques proposées par les chercheurs. L'hypothèse nulle est que le modèle paramétrique est valide, donc que la fonction polynomiale est une bonne approximation de la fonction semi-paramétrique; le modèle semi-paramétrique et la fonction polynomiale ne sont pas différents l'un de l'autre. Comme le modèle semi-paramétrique ne peut être utilisé afin d'effectuer le lien entre les données américaines et québécoises, nous avons effectué le test de Mammen(1993) pour les fonctions polynomiales de degré 0, 0.5, 1, 2 et 3 afin de déterminer si elles peuvent, et dans quelle mesure, expliquer le plus fidèlement les comportements modélisés pour les États-Unis. Au seuil de confiance de 5%, le test nous oblige à rejeter l'hypothèse nulle : les approximations polynomiales testées ne permettent pas de bien représenter la fonction semi-paramétrique. Seule l'approximation polynomiale de degré 2 a eu des résultats presque probants. L'approximation polynomiale de degré 1 est presque statistiquement significative. Il est à noter que le test de

²⁷ Traduit de l'anglais : bandwidth

Mammen punit très sévèrement les données qui s'écartent du lot et a tendance à rejeter facilement les approximations polynomiales. La fonction semi-paramétrique étant beaucoup plus réactive aux données, le test de Mammen est difficile à passer; nous pouvons donc être relativement confiants sur le fait que l'approximation polynomiale de degré 2 est adaptée et préférable aux autres options. Notre fonction de régression, telle qu'illustrée dans l'équation (7) devient donc l'équation (16) :

$$lkwh = \beta_1 lavgelecprice^1 + \beta_2 lavgelecprice^2 + \beta_3 locataire + \beta_4 elwarm + \beta_5 aircond + \beta_6 revenu + \beta_7 nhslmem + \beta_8 hdd65 + \beta_9 cdd65 + w \quad (16)$$

L'illustration (10) ci-dessous représente les résultats de la régression de ce modèle.

ILLUSTRATION 10

Régression de l'équation (16)

	lkwh
lavgelecprice	1.020***
lavgelecprice2	0.399***
locataire	0.309***
elwarm	0.264***
aircond	0.226***
revenu	0.0158***
nhslmem	0.111***
hdd65	0.0000519***
cdd65	0.000213***
_cons	7.923***
N	11642

* p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

R² : 46%

D'abord, d'un point de vue arithmétique, ces résultats impliquent que nous devons utiliser le prix en *cents/kWh* plutôt qu'en *dollars/kWh* car pour les nombres situés entre 0 et 1, le log résultant donne un nombre négatif. En considérant à la fois le log du prix et le log du prix au carré, ces nombres négatifs pour le log du prix et les nombres positifs du log du prix au carré (puisque le carré met en valeur absolue), il deviendrait impossible d'interpréter simultanément. En utilisant les *cents/kWh*, nous évitons ce problème puisque toutes nos observations seront supérieures à 1.

Une considération importante est qu'il y a de nombreuses observations pour lesquelles le prix payé de l'électricité est très élevé. Dans notre cas, la fonction semi-paramétrique montre un comportement erratique pour les données situées aux extrémités de l'axe des X (lavgelecpri). Afin de déterminer si les données pour les prix moins extrêmes sont plus aptes à passer le test de Mammen nous avons tenté le même test mais en omettant les observations pour lesquelles le prix se situait entre $[-2,625; -1,75]$, soit un peu moins de 10% des observations totales. Ce faisant, nous avons constaté que ces données passaient le test de Mammen, et plus particulièrement pour l'approximation polynomiale de degré 2 (linéaire et carré). Le polynôme de degré 1 (soit la fonction linéaire simple) fonctionne également, mais sa significativité statistique est beaucoup moins forte. Les autres approximations que nous avons testées ont toutes une significativité améliorée par rapport à lorsque nous utilisons l'ensemble de l'échantillon, mais demeurent tout de même non significatives. Une méthode alternative pour contourner le rejet du test de Mammen serait donc de présélectionner les données qui nous intéressent. Concrètement, l'illustration 10 en annexe montre qu'à l'intérieur de l'intervalle mentionné précédemment, $[-2,625; -1,75]$, le comportement de la fonction semi-paramétrique semble plus aisément approximable à travers une fonction polynomiale. Nous ne rejetons pas l'hypothèse nulle que la fonction semi-paramétrique et l'approximation polynomiale sont similaires. Cette méthode a toutefois l'inconvénient d'être coûteuse en données : plus de 1000 observations ont été enlevées. Or, pour nos recherches, toutes les observations n'ont pas la même importance. Comme nous cherchons à appliquer le modèle aux données québécoises afin d'estimer à quel point les ménages du Québec sont sensibles aux prix, nous nous préoccupons principalement des observations pour lesquelles le prix moyen observé de l'électricité est similaire aux prix que nous voulons tester pour le Québec. Comme l'éventualité que les prix moyens de l'électricité pour le Québec convergent vers les tarifs des régions où l'électricité est la plus chère aux États-Unis n'est pas envisageable, nous pouvons nous permettre d'enlever les observations des ménages pour lesquels le prix moyen de l'électricité est le plus élevé sans que ça ait un impact négatif sur les capacités de prédiction de notre modèle. Au contraire, enlever ces informations superflues permettrait à l'approximation polynomiale d'être plus juste pour les données s'approchant de la médiane. Toujours selon le même raisonnement, il importe de conserver les observations pour les ménages dont le prix moyen de l'électricité figure parmi les plus bas des États-Unis, puisque ce sont des scénarios de tarification probables et envisageables pour le Québec dans un futur plus ou moins rapproché.

Nous savons maintenant que les données peuvent, à un certain degré, être bien approximées par l'approximation polynomiale de degré 2. Nous assumons donc que pour notre recherche l'approximation polynomiale de degré 2 est l'option la plus satisfaisante. Nous conservons tout de même les données extrêmes. Il est à noter qu'avec l'ensemble de l'échantillon ou seulement l'intervalle mentionné précédemment, la courbe reliée à l'approximation de degré 2 ne change pas beaucoup pour les données non-extrêmes (notamment pour des niveaux de prix comparable à ce que nous retrouvons au Québec).

6.0. Forage et interprétation des données

Dans la section précédente, nous avons fait l'ajout à notre modèle d'une nouvelle variable, soit le prix au carré, de façon à mieux représenter la relation qui nous intéresse. Or, nous n'avons pas encore pris en considération le fait que de nombreux paramètres et comportements observés aux États-Unis ne s'appliquent pas systématiquement aux ménages québécois. De surcroît, les États-Unis est un pays fortement hétérogène, de par ses différentes régions mais aussi la variabilité des valeurs associées aux variables explicatives que nous considérons. Dans la section qui suit, nous décortiquons la base de données du RECS que nous utilisons pour faire notre analyse. Plus précisément, nous allons systématiquement scinder les données en catégories avec des caractéristiques similaires afin d'analyser comment le regroupement par catégories de variables affecte la sensibilité aux prix dans le marché américain. Dans notre cas, nous construisons une variable d'interaction entre le prix de l'électricité et chacune des autres variables explicatives de façon à déterminer l'impact de celles-ci sur la sensibilité au prix de l'électricité des ménages américains. Par exemple, est-ce que l'impact de la température sur la consommation d'électricité évolue selon que le ménage possède ou non un système de chauffage électrique? Suite à l'intégration de cette variable d'interaction, la nouvelle sensibilité marginale devient :

$$b_1 + b_2 * (\text{autre variable})$$

Où b_1 représente l'impact marginal du prix sur la consommation et $b_2 * (\text{autre variable})$ l'impact de cette autre variable sur l'impact du prix sur la consommation. Si l'autre variable est dichotomique, b_2 s'interprète simplement comme l'impact incrémental de cette variable sur la sensibilité aux prix. b_1 est donc la sensibilité de référence lorsque l'autre variable a une valeur de 0. Le coefficient de la variable d'interaction est donc le différentiel de pente. Il est à noter cependant que dans ces circonstances, le coefficient relié à l'autre variable explicative s'explique comme l'impact sur la consommation lorsque le prix de l'électricité est de 0. Il est donc difficilement interprétable dans le cadre de la variable d'interaction. Cette méthode standard d'interprétation des variables d'interaction permet d'offrir de précieuses informations sur le comportement et la relation entre diverses variables.

Ultimement, nous étudions les variables d'interaction afin de déterminer lesquelles pourraient être ajoutées à notre modèle construit à la section précédente. Lorsque les variables d'interaction pertinentes auront été trouvées et analysées, nous comparons l'équation (16) qui caractérise notre modèle avec une nouvelle équation contenant également ces nouvelles variables. Nous effectuons ensuite des tests d'identification afin de déterminer s'il est mieux d'utiliser ou non les variables d'interaction dans notre modèle et le purgeons des variables non-significatives. Comme l'analyse de ces variables est cruciale pour notre modèle mais ne fait pas partie intégrante de la méthodologie, nous n'utilisons pas le log du prix et de la consommation, de façon à simplifier l'interprétation sans compromettre la fidélité ou la rigueur du modèle. L'interprétation des résultats devrait être similaire que nous utilisons le log ou non. Dans le même ordre d'idée, pour faciliter l'interprétation nous n'utilisons pas le log du prix au carré dans cette section-ci où nous cherchons uniquement à comprendre le comportement des variables d'interaction.

6.1 Locataire

La première variable explicative que nous analysons est *locataire*. Celle-ci est dichotomique et exprime si le ménage est propriétaire ou non du logement dans lequel il vit. Les illustrations 11 et 12 ci-dessous indiquent respectivement le pourcentage de ménages propriétaires selon la région géographique et les résultats de notre régression lorsque nous faisons interagir le prix et la variable *locataire*. Les divisions représentent des régions distinctes des États-Unis, tels que la Nouvelle-Angleterre (division #1) et le Pacifique (division #10).

Illustration 11

région	part (%) des propriétaires
Québec	77%
États-unis	68%
Division 1	73%
Division 2	73%
Division 3	68%
Division 4	67%
Division 5	66%
Division 6	70%
Division 7	68%
Division 8	71%

Division 9	71%
Division 10	66%

Illustration 12

Résultats de la régression incluant la variable d'interaction entre *avgelecprice* et *locataire*

	kwh
avgelecprice	-305.8***
1.locataire	5036.9***
1.locataire#c.avgelecprice	-172.4***
elwarm	2993.9***
aircond	1731.0***
revenu	162.9***
nhsldmem	1140.1***
hdd65	0.392***
cdd65	1.813***
_cons	663.9
N	11642

* p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

R²: 39%

On constate que le fait d'être propriétaire (lorsque la variable *locataire*=1 ils sont propriétaires, alors que *locataire*=0 lorsqu'ils sont locataires) augmente fortement la sensibilité de la consommation au prix de l'électricité, tel qu'indiqué par le coefficient relié à la variable d'interaction. Ceci ne semble pas surprenant puisque les propriétaires défraient généralement eux-mêmes les coûts reliés à l'électricité, alors que ce n'est pas systématiquement le cas pour les locataires. La sensibilité augmente de près de 50%. Ci-dessous, nous nuançons cette régression en l'effectuant pour chaque division géographique des États-Unis.

6.1.1 Locataire selon la région

L'illustration 13 ci-dessous récapitule les résultats que nous avons obtenus. La deuxième colonne représente le pourcentage de ménages qui sont propriétaires de leur lieu de résidence. La troisième et la quatrième colonne représentent respectivement le coefficient obtenu relié au prix moyen de l'électricité (*avgelecprice*) et à la variable d'interaction entre le prix moyen et le fait d'être propriétaire ou non (*locataire*). Les cases jaunes représentent les résultats pour lesquels les coefficients ne sont pas significatifs à un niveau de confiance de 5%.

Illustration 13

Région	% de propriétaires	coefficient du prix (<i>avgeleprice</i>)	coefficient de la variable d'interaction
Québec	77%	-	-
États-Unis	68%	-30581	-17244
Division1	73%	-25793	-28006
Division2	73%	-37680	-14922
Division3	68%	-26979	-22271
Division4	67%	-16884	-16923
Division5	66%	-35172	-11598
Division6	70%	-41352	11946
Division7	68%	-36488	580
Division8	71%	-22871	-7767
Division9	71%	-18071	-26451
Division10	66%	-34522	-18455

Même si le taux de propriétaire dans les échantillons considérés est légèrement supérieur pour le Québec que pour les régions américaines, le taux demeure comparable. De prime abord, le taux de propriétaire et le coefficient relié aux variables d'interaction (tels que décrits ci-dessus) n'ont aucune corrélation.

En définitive, il semble que pour les divisions 6, 7, 8 et 9 la variable d'interaction entre le prix (*avgeleprice*) et la possession ou non du logement (locataire) est non-significative. Le nombre d'observations est suffisamment élevé dans chaque division pour que ce ne soit pas une problématique. Une hypothèse est que dans ces régions, la régulation impose que les locataires paient eux-mêmes la facture d'électricité. Dans ce cas, dans la mesure où il n'y a pas de régulation similaire au Québec il est préférable que nous omettions ces divisions lors de notre extrapolation. L'étude de certaines autres variables explicatives va dans le même sens. Pour les autres divisions cependant, cette variable d'interaction a le signe anticipé : le fait d'être propriétaire impacte significativement et de façon positive la sensibilité au prix de l'électricité. Une autre hypothèse, moins forte mais plausible, est qu'il fait plus chaud dans les régions 6 à 10 et que conséquemment une minorité de ces ménages possède un système de chauffage électrique, lequel permet d'ajuster aisément sa consommation d'électricité. Pourtant, selon cet argument la dixième division, qui est

aussi la plus chaude, devrait aussi avoir un coefficient d'interaction non-significatif. Nous utilisons seulement les divisions 1 à 5 pour effectuer l'extrapolation.

6.2 *Elwarm*

La deuxième variable d'intérêt que nous considérons est *elwarm*, soit la variable dichotomique relative au fait de posséder ou non un système de chauffage central électrique. L'illustration 14 ci-dessous représente les résultats de notre analyse lorsque nous créons une variable d'interaction entre *elwarm* et le prix de l'électricité.

Illustration 14

Résultats de la régression incluant la variable d'interaction entre *lavgelecprice* et *elwarm*

	kwh
avgelecprice	-263.3***
1.elwarm	8039.8***
1.elwarm#c.avgelecprice	-405.3***
locataire	2835.6***
aircond	1716.7***
revenu	165.9***
nhsldmem	1134.2***
hdd65	0.403***
cdd65	1.866***
_cons	-107.8
N	11642

* p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

R²: 40%

Nous constatons que le fait de posséder un système de chauffage électrique (*elwarm*=1) augmente fortement la sensibilité de la consommation au prix de l'électricité, tel qu'indiqué par le coefficient négatif relié à la variable d'interaction. Ceci n'est pas surprenant puisqu'un système de chauffage électrique est particulièrement énergivore et qu'il est relativement aisé de contrôler son utilisation, par exemple en le fermant durant la journée ou en mettant un réglage automatique.

6.2.1 *Elwarm* selon la région

Avant d'analyser l'impact du fait de posséder un système de chauffage électrique sur la sensibilité aux prix pour chaque région, il convient de comprendre un peu comment la température évolue pour chaque division. La base de données que nous utilisons pour les États-Unis classe les divisions selon le niveau moyen de température. Ainsi, alors que la première division est la plus froide (Nouvelle-Angleterre), la dixième est en moyenne la plus chaude. L'illustration 15 ci-dessous met en relation le degré-jour de chauffage, et de climatisation pour chaque région pour l'année 2009. À priori, nous devrions donc nous attendre à ce que l'impact agrégé de posséder un système de chauffage électrique sur la sensibilité aux prix diminue dans les divisions plus chaudes (donc les dernières divisions) puisque l'utilisation de cet appareil risque d'y être moins important par rapport à la consommation totale d'électricité. L'illustration 16 ci-dessous, qui provient de nos calculs, permet d'y répondre.

Illustration 15

Degré jour de chauffage et de climatisation selon la division géographique, aux États-Unis

division	hdd65	cdd65
1	6787	208
2	6671	387
3	5898	536
4	5247	725
5	4265	1092
6	3344	1413
7	2874	1709
8	2234	2091
9	2216	2467
10	1063	3518

Illustration 16

Coefficients reliés à la variable d'interaction $elwarm * lavgeleprice$

Région	Part (%) des ménages possédant un système de chauffage électrique	Coefficient relié au prix	Coefficient d'interaction entre le prix et la possession d'un système de chauffage électrique
Québec	39%	-	-
États-unis	51%	-26326	-40531
Division 1	43%	-26415	-45988
Division 2	40%	-38283	-23754
Division 3	39%	-28434	-33687
Division 4	41%	-14696	-38816
Division 5	49%	-28509	-40834
Division 6	52%	-19711	-19860
Division 7	57%	1237	-76066
Division 8	56%	-10562	-39663
Division 9	61%	19502	-47462
Division 10	72%	-38332	-15954

Les cases surlignées en jaune représentent les coefficients qui ont été jugés non-significatifs par notre modèle à un niveau de confiance de 5%. Comme nous nous y attendions à priori, comme pour le fait d'être propriétaire ou non les variables d'interaction ne sont pas significatives pour les divisions 6 à 10 (à noter que la dixième division était significative pour la variable *locataire*). Ceci peut aisément être expliqué par le fait que les divisions ont été ordonnées de façon à être numérotées en ordre croissant de chaleur. La première division est la plus froide, et la dixième est la plus chaude. Il est donc parfaitement plausible que pour les régions plus chaudes (dans ce cas-ci à partir de la division 6 jusqu'à la 10) le fait de posséder un système de chauffage électrique n'influence pas la sensibilité de la consommation au prix de l'électricité puisque ce genre d'appareil n'y est pas particulièrement utilisé. Comme le Québec est davantage caractérisé par de basses températures telles que celles constatées dans les 5 premières divisions, celles-ci sont beaucoup plus pertinentes pour notre extrapolation. À la section 6.7, nous incluons cette nouvelle variable d'interaction afin de tester le nouveau modèle.

6.3 Aircond

La troisième variable d'intérêt que nous considérons est *aircond*, soit la variable dichotomique relative au fait de posséder ou non un système de climatisation. L'illustration 17 ci-dessous représente les résultats de notre analyse lorsque nous créons une variable d'interaction entre *aircond* et le prix de l'électricité.

Illustration 17

Résultats de la régression incluant la variable d'interaction entre *avgelecprice* et *aircond*

	kwh
avgelecprice	-250.5***
1.aircond	4567.8***
1.aircond#c.avgelecprice	-214.1***
locataire	2816.6***
elwarm	2983.2***
revenu	163.1***
nhsldmem	1135.6***
hdd65	0.400***
cdd65	1.814***
_cons	-148.7

N

11642

* p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

R²: 39%

Le coefficient relié à la variable d'interaction montre clairement que le fait de posséder un système d'air climatisé a un impact significatif sur la sensibilité aux prix de l'électricité lorsque nous prenons les données pour l'ensemble des États-Unis. Le signe est aussi le même que celui auquel nous pourrions nous attendre : le fait d'avoir un système de climatisation augmente la sensibilité aux prix. À même titre que pour le système de chauffage électrique, l'explication est que ce genre d'appareil occupe une grande place de la consommation totale d'électricité, mais offre une bonne flexibilité dans son utilisation. Ci-dessous, nous tentons d'analyser cette même variable selon les différentes régions américaines. À priori, nous devrions nous attendre à ce que

la sensibilité marginale aux prix soit non-significative pour les régions très froides (car les ménages ne devraient pas avoir à se servir de ce système) et significative pour les régions où son utilisation s'avère nécessaire.

6.3.1 Aircond selon la région

L'illustration 18 ci-dessous illustre nos résultats. Ils semblent aller en contradiction avec ce à quoi nous nous attendions précédemment. On constate que le fait de posséder un système de climatisation ($aircond=1$) augmente fortement la sensibilité de la consommation au prix de l'électricité mais seulement pour les divisions 1 à 5, soit les régions plus froides.

Illustration 18

Coefficients reliés à la variable d'interaction $aircond*lavgelecprice$

Région	Part (%) des ménages possédant un système de climatisation	Coefficient relié au prix	Coefficient d'interaction entre le prix et la possession d'un système de climatisation
Québec	47%		
États-unis	83%	-25053	-21411
Division 1	43%	-37517	-25473
Division 2	74%	-39189	-12667
Division 3	77%	-25560	-20595
Division 4	79%	-16240	-15000
Division 5	89%	-17035	-29477
Division 6	85%	11304	-49723
Division 7	92%	249	-39424
Division 8	89%	-11598	-18678
Division 9	95%	101060	-143904
Division 10	95%	-28777	-19212

Le fait d'avoir inclus le degré-jour de chauffage et de climatisation dans notre modèle implique que les coefficients d'interaction obtenus entre le prix et la possession du système de climatisation s'interprètent pour un degré jour de climatisation et de chauffage donné. Ce faisant, il n'est pas évident pour quelles raisons les coefficients sont non-significatifs pour les régions 6 à 10, qui sont aussi les plus chaudes. Une explication possible est que l'échantillon est trop petit pour que nous puissions capter la significativité. Comme le montre la deuxième colonne de l'illustration 18 ci-dessus, pour les divisions 6 à 10 il y a très peu de ménages qui ne possèdent pas de système de climatisation. Par exemple, pour la division 10 nous avons près de 2000

observations. Comme seul 5% de l'échantillon considéré pour cette division possède un système de climatisation, nous avons seulement 100 observations. De façon similaire, les divisions 8 et 9 ont respectivement seulement 434 et 357 observations. En définitive, à l'instar des deux premières variables explicatives considérées, cette analyse montre que les divisions 6 à 10 doivent être omises lors de notre extrapolation. Nous incluons cette variable d'interaction à notre équation étudiée à la section 6.7.

6.4 Revenu

La quatrième variable d'intérêt que nous considérons est *revenu*, soit la variable relative au revenu familial total du ménage que nous avons stratifié en quintiles. L'illustration 19 ci-dessous représente les résultats de notre analyse lorsque nous créons une variable d'interaction entre *revenu* et le prix de l'électricité.

Illustration 19

Résultats de la régression incluant la variable d'interaction entre *lavgelecprice* et le quintile de *revenu*

	kwh
avgelecprice	-372.3***
2.quintilerev	1031.7
3.quintilerev	1589.1**
4.quintilerev	1835.0**
5.quintilerev	2645.4**
2.quintilerev#c.avgelecprice	-88.43*
3.quintilerev#c.avgelecprice	-78.66*
4.quintilerev#c.avgelecprice	-76.02
5.quintilerev#c.avgelecprice	-28.17
locataire	2847.9***
elwarm	2985.3***
aircond	1718.5***
revenu	46.3
nhsldmem	1137.5***
hdd65	0.415***
cdd65	1.859***
_cons	2199.4***
N	11642

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

R^2 : 39%

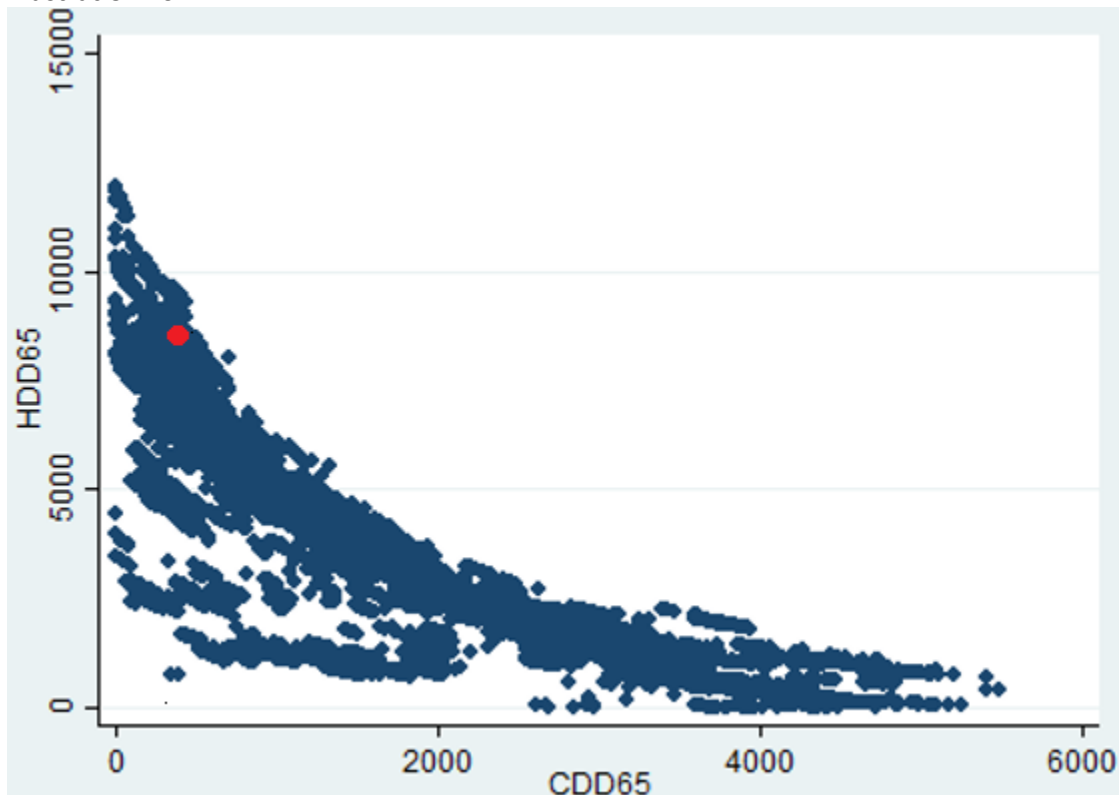
Les coefficients reliés à la variable d'interaction entre le prix et le quintile de revenu sont légèrement significatifs. Le coefficient (en rapport au premier quintile de revenus) du deuxième quintile est significatif à un niveau de confiance de 5%, et celui des troisième et quatrième quintiles le sont à un niveau de confiance de 7%. Le dernier quintile est définitivement non-significatif. Le revenu a donc à la fois un impact sur la sensibilité aux prix et sur la consommation finale d'électricité. Une partie du pouvoir explicatif du revenu est captée par les autres variables explicatives corrélées, telles que la possession d'un système de chauffage électrique et le fait de posséder ou non son logement.

L'évolution de la sensibilité aux prix selon le niveau de revenu peut sembler contre-intuitive. D'abord, les ménages du premier quintile de revenus ont la plus faible élasticité prix, puisque les variables d'interaction entre les quintiles de revenu 2 à 5 ont toutes un signe négatif par rapport à la référence (premier quintile de revenu). En étant moins fortunés, le prix de l'électricité occupe une part relative plus importante de leur revenu. Or, notre modèle montre que l'effet dominant est qu'en ayant accès à moins de ressources, ces ménages ont moins le contrôle sur leur électricité à long terme (par exemple en achetant des électroménagers écoénergétiques). Il y a donc une relation non monotone entre le revenu et la sensibilité aux prix. Il pourrait être intéressant de déterminer comment l'accès et la sensibilité à l'information concernant la tarification impacte la consommation pour chaque groupe de revenu. Par rapport au premier quintile de revenu le deuxième, troisième et quatrième quintiles sont caractérisés par une élasticité supérieure mais décroissante. En étant plus fortunés ils ont une meilleure latitude sur leurs produits de consommation et possèdent potentiellement une meilleure connaissance de leurs habitudes de consommation d'électricité. À mesure que leur revenu augmente, il semble cependant qu'ils sont moins susceptibles d'adapter leurs comportements. Le coefficient relié au dernier quintile de la variable d'interaction n'est pas significatif. Pour notre extrapolation, nous transformons la variable *revenu* de façon à ce qu'elle soit continue, mais ne prenons pas en compte les observations appartenant au dernier quintile de revenu puisque pour eux le lien entre la consommation et le prix semble être en discontinu comparativement aux autres quintiles.

6.5 Température

En utilisant les données américaines, nous sommes en mesure de capter l'impact de la température sur un intervalle important. L'illustration 20 ci-dessous illustre toutes les observations que nous avons selon le degré-jour de chauffage et de climatisation. Nous voyons, comme il est normal de s'y attendre, une relation inversement proportionnelle entre les deux variables de température.

Illustration 20



À titre indicatif, Nous avons récolté les données moyennes de l'*Association québécoise pour la maîtrise de l'énergie*. Selon celles-ci, le Québec se situe approximativement à (301, 8314) dans le graphique ci-dessus. Au Québec, la variation est relativement faible entre les régions. Pour les besoins de notre recherche il est difficile de tenir en compte des spécificités régionales pour le Québec puisque nous pouvons uniquement utiliser les valeurs moyennes pour effectuer l'extrapolation. Nous assumons que le Québec dans son ensemble répond aux mêmes températures et possède un degré jour de chauffage et de climatisation similaire aux régions considérées, soit les divisions 1 à 5. La province ressemble donc, en termes de température, aux régions où il fait

souvent froid et où il y a quelques jours qui dépassent les 18 degrés Celsius. Afin de nuancer l'analyse de la température, ci-dessous nous analysons séparément le degré-jour de chauffage et de climatisation. Parallèlement, nous déterminons comment la possession d'un système de chauffage et de climatisation affecte l'élasticité prix de l'électricité selon la température.

6.5.1 degré-jour de chauffage (HDD65)

L'illustration 21 ci-dessous montre les résultats de notre régression principale lorsque nous y ajoutons la variable d'interaction entre le degré-jour de chauffage et le prix de l'électricité.

Illustration 21

Résultats de la régression incluant la variable d'interaction entre avgelecprice et le quintile de hdd65

	kwh
avgelecprice	-82.61*
2.quintilehdd65	4247.8***
3.quintilehdd65	6678.5***
4.quintilehdd65	5109.5***
5.quintilehdd65	4835.6***
2.quintilehdd65#c.avgelecprice	-229.8***
3.quintilehdd65#c.avgelecprice	-404.4***
4.quintilehdd65#c.avgelecprice	-331.2***
5.quintilehdd65#c.avgelecprice	-413.6***
locataire	2763.0***
elwarm	2894.6***
aircond	1415.4***
hdd65	0.674***
cdd65	2.289***
R ² : 40%	

Les coefficients reliés à la variable d'interaction entre le prix et le degré jour de chauffage(HDD65) sont tous fortement significatifs et du signe attendu. Ceci implique donc que dans les régions plus froides (où le cinquième quintile est le plus froid), les ménages sont davantage sensibles aux prix de l'électricité. La relation n'est cependant pas monotone, dans la mesure où pour le 4^e quintile (donc pour des observations provenant de régions froides) la sensibilité est moindre que pour le 3^e et 5^e quintile.

Ci-dessous nous analysons la même chose mais en stratifiant selon si le ménage possède un système de chauffage ou non (*elwarm*). Nous nous attendons à ce que les ménages possédant un système de chauffage électrique dans les régions plus froides aient la plus grande élasticité.

6.5.2 HDD65 et l'impact de la possession d'un système de chauffage électrique

D'abord, l'illustration 22 ci-dessous montre les résultats pour les ménages ne possédant pas de système de chauffage.

Illustration 22

Résultats de la régression incluant la variable d'interaction entre *avgelecprice* et le quintile de *Hdd65*

	Ménages ne possédant pas un système de chauffage kwh	Ménages possédant un système de chauffage kwh
<i>avgelecprice</i>	-47.26	-178.6*
2.quintilehdd65	1722.4	5586.2***
3.quintilehdd65	4748.7***	7787.0***
4.quintilehdd65	3289.7***	6782.7***
5.quintilehdd65	4501.6***	5188.1**
2.quintilehdd65#c. <i>avgelecprice</i>	-41.38	-342.0**
3.quintilehdd65#c. <i>avgelecprice</i>	-301.6***	-508.6***
4.quintilehdd65#c. <i>avgelecprice</i>	-201.4***	-501.0***
5.quintilehdd65#c. <i>avgelecprice</i>	-350.9***	-548.1***
<i>locataire</i>	2357.5***	3092.9***
<i>aircond</i>	1370.1***	1538.4***
<i>revenu</i>	174.5***	161.5***
<i>nhsldmem</i>	981.1***	1278.4***
<i>hdd65</i>	0.586***	0.883***
<i>cdd65</i>	2.233***	2.448***
<i>_cons</i>	-3762.5***	-1780.4
N	5707	5935
* p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001	R ² : 34%	R ² : 39%

Pour les ménages qui ne possèdent pas de système de chauffage, la sensibilité aux prix évolue pour les 3 derniers quintiles de la variable *quintilehdd65*. Le deuxième quintile n'est pas significatif. Il semble que les ménages vivant dans des zones où le degré-jour de chauffage est plus élevé sont plus sensibles au prix de l'électricité même lorsqu'ils ne sont pas dotés d'un système de chauffage électrique. Nous devrions tout de même trouver une réactivité supérieure, toutes choses étant égales par ailleurs, pour les ménages possédant un système de chauffage électrique. L'analyse précédente sur la possession d'un système de chauffage électrique selon les divisions géographiques montrait que les ménages de régions plus froides étaient beaucoup plus enclins à posséder ce genre de système. Il est donc naturel que ceux-ci aient une plus grande réactivité aux prix. Ci-dessous, nous analysons l'impact du degré-jour de chauffage chez les ménages possédant un système de chauffage électrique.

Pour les ménages possédant un système de chauffage électrique, il semble que le degré-jour de chauffage fait croître la sensibilité aux prix de façon beaucoup plus drastique que pour ceux qui n'en possèdent pas. Pour ces ménages, tous les quintiles de température sont significatifs. Il est intéressant de constater que pour les 3 derniers quintiles, la sensibilité aux prix est sensiblement la même : c'est comme si à partir d'un certain seuil, la sensibilité aux prix explicable par la température demeure la même. Cette constatation est généralisable pour le Québec et nous rassure par rapport au fait d'utiliser une donnée unique pour le degré-jour de chauffage (plutôt que de le faire par région).

Il est difficile d'effectuer des constats concernant l'impact du fait de posséder un système de chauffage électrique sur la sensibilité de la consommation aux prix lorsque nous faisons interagir le prix de l'électricité avec la température. Nous savons cependant que le fait de posséder un système de chauffage vient augmenter la sensibilité aux prix, et ce pour tous les niveaux de température. La sensibilité par rapport aux prix en fonction du quintile de température est beaucoup plus forte et significative pour les ménages possédant un système de chauffage électrique. Ceci coïncide avec le fait que les ménages provenant de régions plus froides ont plus tendance à posséder un système de chauffage électrique, et en ces sens sont beaucoup plus similaires aux caractéristiques des ménages Québécois.

Dans les variables explicatives retenues, la possession d'un système de chauffage électrique a une importance particulière. De prime abord, c'est l'une des plus puissantes (en termes quantitatifs et statistiques). Or, à très long terme il est probable que le prix de l'électricité affecte à la fois la variable expliquée, soit la consommation d'électricité, et la décision d'achat d'un nouveau système de chauffage. Ce dernier vient également affecter la consommation d'électricité. Il est donc possible qu'il y ait un mauvais contrôle, à même titre que notre justification de la section 4.4.4 sur la taille des maisons. Nous assumons cependant que ceci ne vient pas affecter négativement la précision de notre modèle, et permet éventuellement de le nuancer. En conservant la variable *elwarm* dans le modèle puis en comparant avec un modèle où elle n'y est pas, nous sommes en mesure de comprendre davantage comment la possession d'un système de chauffage affecte la consommation totale et dans quel ordre de grandeur les ménages sont susceptibles de s'adapter aux nouveaux prix en investissant dans ce genre d'appareil. Les ménages prennent des décisions d'achat d'un système de chauffage électrique en fonction de leur consommation et des prix espérés de long terme de l'électricité. Plusieurs articles incluent ces deux variables sans tenter expressément de contrôler pour cette endogénéité. Bernard (2009) n'utilise pas le fait de posséder un système de chauffage mais met le prix du gaz naturel, qui est lui aussi endogène (puisque la différence de prix entre l'électricité et cette ressource aura un impact de long terme sur la décision d'investir dans un système de chauffage électrique). Dubin et McFadden (1984) font une analyse plus approfondie sur l'élasticité prix de long terme d'électricité aux États-Unis. Ils modélisent à la fois le prix marginal de l'électricité payé par les ménages et une variable dichotomique pour plusieurs électroménagers et systèmes, tels que le système de chauffage électrique (de l'eau et de l'air), l'utilisation d'une machine à laver et d'une sècheuse. L'auteur ne prend pas en compte le fait qu'il y a une endogénéité potentielle entre la possession de ces équipements et la consommation d'électricité. Fell (2010) va encore plus loin en intégrant à son modèle à la fois les variables dichotomiques de la possession de certains électroménagers et systèmes tels que le système de chauffage, le prix de la ressource énergétique reliée et le prix de ces systèmes et électroménagers. Il ne justifie pas explicitement comment l'endogénéité potentielle affecte son modèle ou ses résultats. En conjonction avec ce qui est pratiqué dans la littérature, nous considérons la possession d'un système de chauffage électrique comme variable explicative à la consommation d'électricité et faisons l'hypothèse, à l'instar des auteurs considérés, que ceci ne viendra pas changer l'interprétation de nos résultats. Nous effectuons tout de même un test de

sensibilité pour voir comment le fait de l'inclure ou non affectera la fonction de demande modélisée. Le même raisonnement s'applique pour le système de climatisation, même si celui-ci a une importance moindre pour expliquer les phénomènes étudiés.

Finalement, en considérant les ménages avec ou sans un système de chauffage, on constate que la sensibilité est fortement plus élevée pour ceux qui en possèdent un. Ceci peut s'expliquer par la capacité additionnelle de ces ménages à adapter leur consommation, l'utilisation de cet appareil étant aisément modulable selon la convenance du consommateur. Le système de chauffage électrique utilisant une partie importante de la consommation totale d'électricité des ménages en possédant un, et son utilisation étant fortement modulable à la convenance du consommateur, il offre une capacité supplémentaire à ses propriétaires de s'adapter aux prix. L'illustration 23 ci-dessous illustre nos résultats lorsque nous faisons interagir le prix de l'électricité avec la variable reliée au quintile de degré-jour de climatisation.

Illustration 23

Résultats de la régression contenant la variable d'interaction *quintilecdd65*lavgelecprice*

	kWh
avgelecprice	-442.9***
2.quintilecdd65	-1156.9
3.quintilecdd65	2158.8***
4.quintilecdd65	2500.9**
5.quintilecdd65	3842.6***
2.quintilecdd65#c.avgelecprice	131.4**
3.quintilecdd65#c.avgelecprice	-14.82
4.quintilecdd65#c.avgelecprice	13.73
5.quintilecdd65#c.avgelecprice	73.56
locataire	2780.8***
elwarm	2944.1***
aircond	1371.6***
revenu	167.9***
nhsldmem	1131.7***
hdd65	0.569***
cdd65	0.750***
<u>_cons</u>	<u>1504.7**</u>
N	11642
R ² : 40%	

Contrairement à ce que nous avons trouvé pour le degré jour de chauffage, le degré jour de climatisation n'a pas d'impact sur la sensibilité aux prix dès lors que nous atteignons le 3^e quintile de température. Le fait que le 2^e quintile soit significatif laisse comprendre que pour des régions tempérées la sensibilité aux prix diminue par rapport aux régions plus froides. Il convient d'approfondir cette variable en stratifiant selon que les ménages possèdent ou non un système de climatisation.

6.5.3 Ne possèdent pas un système de climatisation

Illustration 24

Résultats de la régression contenant la variable d'interaction *quintilecdd65*avgelecprice*

	Pour les ménages possédant un système de climatisation (aircond=1) kwh	Pour les ménages ne possédant pas un système de climatisation (aircond=0) kwh
avgelecprice	-504.0***	-382.1***
2.quintilecdd65	-1236.7	-2634.3*
3.quintilecdd65	2224.9**	-2872.9*
4.quintilecdd65	2307.2**	-4350.8
5.quintilecdd65	3866.2***	-4680.6*
2.quintilecdd65#c.avgelecprice	153.3**	192.1**
3.quintilecdd65#c.avgelecprice	-3.054	208.4**
4.quintilecdd65#c.avgelecprice	53.18	302.1
5.quintilecdd65#c.avgelecprice	94.57	294.9**
locataire	2940.9***	2097.8***
elwarm	2928.0***	2682.4***
revenu	177.8***	95.43***
nhslmem	1217.5***	831.0***
hdd65	0.486***	0.617***
cdd65	0.628***	1.705**
_cons	3491.8***	2915.0***
N	9608	2034

* p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

Pour les ménages ne possédant pas de système de climatisation, la sensibilité aux prix de l'électricité tend à décroître à mesure que la température augmente. On constate cependant que la consommation d'électricité diminue à mesure que la température augmente.

Contrairement à ce que nous pourrions penser, pour les ménages possédant un système de climatisation l'impact de la température sur la sensibilité aux prix n'est pas significative dans les régions où il fait chaud. Bien que ceci n'empêche pas que l'air conditionné fasse augmenter la consommation d'électricité, la sensibilité aux prix n'est pas influencée par la température dès lors que la température augmente à un certain seuil (selon nos données, à partir du 3^e quintile de degré-jour de climatisation). L'interprétation est que les ménages possédant un système de climatisation ne modifient pas leur consommation de climatisation en fonction du prix. On constate cependant que l'élasticité prix des ménages est supérieure dans le premier quintile de degré-jour de climatisation que dans le deuxième.

Ce que nous avons observé jusqu'à maintenant pour le degré jour de chauffage et le degré jour de climatisation semble indiquer que la sensibilité aux prix tend à augmenter avec les climats plus froids. Une partie importante de cette sensibilité accrue s'explique par les systèmes de chauffage électrique qui sont à la fois énergivores mais suffisamment flexibles pour que les ménages puissent adapter leur consommation plus aisément. En contrepartie, l'impact du fait de posséder un système de climatisation sur la sensibilité des ménages aux prix selon la température semble beaucoup plus incertain. Comme le Québec correspond davantage aux observations de ménages américains vivant dans des régions plus froides, nous ciblons ceux-ci pour faire notre extrapolation. Non seulement la propension d'un ménage à posséder un système de chauffage ou de climatisation y est plus semblable, l'effet de la température sur la sensibilité aux prix y est davantage représentatif.

6.6 Nombre d'individus dans le ménage (*NHSLDMEM*)

L'illustration 25 ci-dessous exprime les résultats de notre régression principale lorsque nous y ajoutons une variable d'interaction entre le nombre d'individus vivant dans le ménage et le prix moyen payé de l'électricité.

Illustration 25

Résultats de la régression contenant la variable d'interaction *nhsldmem*lavgelecprice*

	kwh
avgelecprice	-322.5***
2.nhsldmem	3765.1***
3.nhsldmem	4987.9***
4.nhsldmem	5872.5***
5.nhsldmem	6808.7***
6.nhsldmem	7613.0***
2.nhsldmem#c.avgelecprice	-120.6***
3.nhsldmem#c.avgelecprice	-105.3**
4.nhsldmem#c.avgelecprice	-105.5*
5.nhsldmem#c.avgelecprice	-105.1
6.nhsldmem#c.avgelecprice	-143
locataire	2809.7***
elwarm	3007.7***
aircond	1656.5***
revenu	144.4***
hdd65	0.395***
cdd65	1.822***
_cons	1515.5***
N	11642

Cette variable d'interaction nous permet d'estimer l'impact du nombre d'individus vivant dans le ménage sur la sensibilité de celui-ci aux prix de l'électricité. Comme nous pouvons nous y attendre, la sensibilité croît avec le nombre de résidents. Les coefficients de la variable d'interaction sont significatifs jusqu'à 4 personnes. Nous avons également effectué le même exercice en regroupant en 5 catégories de ménage selon la taille et nous avons obtenu des résultats similaires. Le nombre d'individus dans le ménage cesse d'avoir un effet significatif sur la sensibilité aux prix dès lors qu'il y a plus de 5 personnes dans le ménage. Le ménage type constitué de deux individus est le plus sensible aux prix, suivi du ménage à 3 ou 4 membres. Typiquement, on constate donc que les couples sans enfant contrôlent davantage leur consommation d'électricité, et que ce contrôle se fait moins étroitement où il y a un ou deux autres membres dans la famille. Les résultats sont également explicables dans la mesure où la taille de la maison est généralement proportionnelle avec le nombre d'individus, et que des stratégies pour économiser l'électricité sont

plus aisées dans ces circonstances.

6.6.1 NHSLDMEM selon le quintile de revenu du ménage

Cette stratification nous a permis de dégager quelques faits intéressants. D’abord, pour tous les niveaux de revenu le nombre d’individus vient augmenter la consommation de façon significative et importante. Également, pour certains groupes de revenu la sensibilité aux prix évolue plus fortement selon le nombre de personnes dans le ménage. Ainsi, pour le 3^e quintile de revenu, le fait d’avoir un deuxième, troisième et quatrième membre au ménage augmente particulièrement la sensibilité aux prix. L’illustration 26 ci-dessous indique ces propos pour le 3^e quintile de revenu :

Illustration 26

Résultats de la régression contenant la variable d’interaction *nhsldmem*avgelecprice* pour les ménages appartenant au 3^e quintile de la distribution des revenus

	kwh
	-
avgelecprice	256.2***
2.nhsldmem#c.avgelecprice	248.3***
3.nhsldmem#c.avgelecprice	-270.7**
4.nhsldmem#c.avgelecprice	-232.1*
5.nhsldmem#c.avgelecprice	-3.706
6.nhsldmem#c.avgelecprice	-404.5
7.nhsldmem#c.avgelecprice	-43.74
8.nhsldmem#c.avgelecprice	-614.7
<u>9.nhsldmem#c.avgelecprice</u>	<u>-942</u>
N	2251

* p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

R²: 40%

Typiquement, ces ménages représentent les familles de la classe moyenne. Cette relation (augmentation de la sensibilité) est significative pour les ménages de 2 et de 3 membres. Le coefficient de la variable d’interaction cesse d’être significatif à partir de 4 membres. Les ménages constitués d’un seul membre sont typiquement constitués d’individus en transition et qui ne possèdent pas leur logement. Lorsque nous stratifions le nombre d’individus par ménage selon qu’ils possèdent ou non le logement, nous constatons que la sensibilité au prix de l’électricité

augmente pour les ménages possédant leur demeure.

Notre interprétation est que les familles appartenant à la classe moyenne supérieure, avec ou sans enfants, sont les plus à même d'être réactifs par rapport aux prix de l'électricité. Cette généralisation est encore plus forte lorsque ce ménage est propriétaire de son logement et possède un système de chauffage électrique. Cette classe étant répandue au Québec, nous tenterons de l'isoler lors de notre extrapolation.

6.7 Inclusion des variables d'interaction au modèle

Nous cherchons maintenant à déterminer s'il y a une plus-value au fait d'ajouter les variables d'interaction étudiées précédemment à l'équation (16) de façon à complexifier le modèle et le rendre plus puissant. Le modèle que nous voulons tester par rapport à notre modèle initial est :

$$lkwh = \beta_1 lavgelecprice^1 + \beta_2 lavgelecprice^2 + \beta_3 locataire + \beta_{31} intlocataire + \beta_4 elwarm + \beta_{41} intelwarm + \beta_5 aircond + \beta_{51} intaircond + \beta_6 revenu + \beta_{61} intrevenu + \beta_7 nhslmem + \beta_{71} intnhslmem + \beta_8 hdd65 + \beta_{81} inthdd65 + \beta_9 cdd65 + \beta_{91} intcdd65 + w \quad (17)$$

Où les variables commençant par le préfixe *int* représentent les variables d'interaction entre le log du prix et l'autre variable concernée. Il existe plusieurs façons de déterminer lequel est préférable. D'abord, le tableau ci-dessus récapitule le R² dans les deux cas. Nous effectuons le même exercice à la fois pour l'ensemble des observations ainsi que pour les divisions #1 à #5, qui semblent plus propices à notre extrapolation selon les résultats obtenus et les analyses effectuées précédemment.

R ²	Ensemble des observations	Divisions #1 à #5
Équation (16)	45.8%	46.7%
Équation (17)	47.1%	48%

Nous constatons, à travers le R², que l'utilisation des observations en provenance des divisions #1 à #5 permet davantage d'expliquer les variations dans la consommation d'électricité que l'ensemble des observations. Nous apprenons également que l'utilisation de l'équation (17) est

préférable à l'équation (16) selon le R^2 . Nous effectuons cependant le test d'identification de Akaike, qui privilégie les équations ayant un meilleur pouvoir explicatif, mais simultanément punit ceux pour lesquels le nombre de variables explicatives est élevé. C'est donc une mesure qui permet de faire l'arbitrage entre un nombre important de variables explicatives (qui vient augmenter mécaniquement le R^2 du modèle) et le R^2 .

Akaike (critère d'information)	Ensemble des observations	Divisions #1 à #5
Équation (16)	15460	9240
Équation (17)	15204	9077

Selon nos résultats, le critère d'information utilisé (AIC) et le R^2 indiquent que le modèle le mieux spécifié est celui dans lequel nous incluons les variables d'interaction équation (17) et pour lequel nous utilisons uniquement les divisions #1 à #5. Ce sont également les observations de ces régions qui semblent davantage compatibles (suite aux analyses de cette section-ci) pour l'extrapolation avec le Québec. Nous reprenons donc l'équation (17) pour effectuer notre extrapolation, qui représente l'équation (16) à laquelle nous avons ajouté les variables d'interaction. L'équation (17) est préférable, mais nous comparons les résultats obtenus de l'extrapolation avec les deux.

Également, lors de l'extrapolation que nous effectuons à la prochaine section, nous utilisons 3 types d'observations afin de constater à quel point le choix des observations impacte les résultats. Ces 3 types d'observations sont; l'ensemble des observations disponibles pour les États-Unis, les observations des divisions #1 à #5 et les observations de la Nouvelle-Angleterre. Nous terminons en argumentant que l'utilisation des observations des divisions #1 à #5 est plus adaptée à nos circonstances.

L'illustration 27 ci-dessous représente les résultats obtenus en faisant la régression avec l'équation (17). Nous constatons que plusieurs variables d'interaction ne sont pas significatives (toujours lorsque nous utilisons les observations des divisions #1 à #5). Il est à noter que les coefficients sur *lavgelecprice* et *lavgelecprice2* sont positifs car l'unité utilisée est le \$/kWh. Les valeurs des observations sont donc situées en-deçà de 1. Le logarithme naturel de ces observations

est donc négatif.

Illustration 27

Résultats de la régression contenant l'ensemble des variables d'interaction

	lkwh
lavgelecprice	-1.627***
lavgelecprice2	0.379***
locataire	0.126
intlocataire	0.0693
elwarm	0.853***
intelwarm	-0.238***
aircond	0.126
intaircond	0.0115
revenu	-0.00679
intrevenu	0.00873**
nhsldmem	0.0625
intnhsldmem	0.0211
hdd65	0.000447***
inthdd65	-0.000152***
cdd65	0.00123***
intcdd65	-0.000381***
_cons	9.137***
N	7075

* p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

R² : 48%

Lorsque nous purgeons les variables non significatives, soit *intlocataire*, *aircond*, *intaircond* et *intnhsldmem*, nous obtenons les résultats illustrés dans l'illustration 28 ci-dessous. Le modèle que nous utilisons pour effectuer l'extrapolation devient l'équation (18) ci-dessous.

$$lkwh = \beta_1 lavgelecprice^1 + \beta_2 lavgelecprice^2 + \beta_3 locataire + \beta_4 elwarm + \beta_{41} intelwarm + \beta_6 aircond + \beta_6 revenu + \beta_{61} intrevenu + \beta_7 nhsldmem + \beta_8 hdd65 + \beta_{81} inthdd65 + \beta_9 cdd65 + \beta_{91} intcdd65 + w \quad (18)$$

Illustration 28
Résultats de la régression de l'équation (18)

	lkwh
lavgelecprice	-1.477***
lavgelecprice2	0.364***
locataire	0.302***
elwarm	0.862***
intelwarm	-0.242***
aircond	0.156***
revenu	-0.0138*
intrevenu	0.0115***
nhsldmem	0.116***
hdd65	0.000445***
inthdd65	0.000151***
cdd65	0.00122***
intcdd65	0.000375***
_cons	8.865***
N	7075

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

R² : 49%

Il est important de considérer que les variables d'interaction sont majoritairement significatives, mais que le fait de les inclure à notre modèle ne vient pas changer significativement les coefficients reliés aux autres variables. L'implication est que les variables expliquent, en elles-mêmes, suffisamment les variations dans les prix. Ceci vient renforcer l'idée que nos variables et le modèle utilisé permettent de faire l'extrapolation avec un certain degré de fiabilité.

6.8 Selon les divisions

La dernière analyse qui importe relativement aux variables explicatives est la région, tel qu'illustré par la variable *division* qui représente les dix divisions géographiques des États-Unis. Il nous importe de déterminer à quel point cette variable permet d'expliquer les comportements de consommation lorsque nous contrôlons pour les autres variables à notre disposition. Si nous

ajoutons cette variable à notre modèle et qu'elle permet d'améliorer la précision du modèle, c'est un indice que de nombreuses autres variables n'ont pas été prises en compte et qu'elles contribuent à expliquer les comportements. Une faible différence viendrait argumenter en faveur de notre extrapolation dans la mesure où elle indiquerait que nos variables expliquent une partie importante des différences inter et extra régionales. En comparant les deux cas, nous constatons que le R^2 est le même, soit 47.1%. La variable division est presque non-significative à un niveau de 5%. Ce résultat est encourageant pour l'analyse dans la mesure où il implique que nos variables explicatives expliquent une partie importante des variabilités à travers les régions. Par ailleurs, cette faible différence entre les régions des États-Unis permet d'argumenter que cette différence devrait être similaire pour le Québec également. Dans ce cas, nos variables explicatives permettent suffisamment de justifier les variations dans la consommation pour que l'extrapolation de la demande au Québec grâce aux données américaines soit fiable.

7. Extrapolation de la fonction de demande au Québec

7.1 Transposition des données québécoises au modèle américain

Jusqu'à maintenant nous avons déterminé, grâce à la régression semi-paramétrique et au test de Mammen, que l'approximation polynomiale de degré 2 est la forme à privilégier pour faire nos analyses avec les données américaines. Par la suite, nous avons effectué le forage des données et avons étudié les variables d'interaction de façon à enrichir notre modèle. En parallèle nous avons argumenté, sur la base de nos analyses, que les observations des divisions #1 à #5 étaient les plus aptes à être utilisées pour effectuer notre extrapolation vers le Québec. Puis, nous avons purgé notre modèle des variables d'interaction non significatives et conservé que les significatives de façon à obtenir l'équation finale (18). Maintenant, l'objectif est d'utiliser ce modèle créé à partir des données américaines afin de faire une extrapolation du marché québécois. L'hypothèse sous-jacente est que l'effet des différentes variables explicatives sur le prix et la sensibilité aux prix est comparable entre les États-Unis et le Québec.

Au-delà de la demande, nous voulons déterminer la sensibilité des ménages québécois par rapport aux prix. Une fois le modèle sélectionné, l'extrapolation nécessite de mettre les valeurs moyennes des paramètres pour le Québec à l'intérieur du modèle. Les variables explicatives autres que le prix deviennent maintenant des nombres, soit le produit du coefficient et la valeur des paramètres pour le Québec. Dans de meilleures circonstances, il aurait été possible d'utiliser les microdonnées du Québec dans l'extrapolation afin de capter l'effet (pas nécessairement linéaire) des autres variables explicatives sur les préférences des consommateurs. La seule base de microdonnées à notre disposition pour le Québec contenait trop peu de variables explicatives pertinentes et pour cette raison il était impossible de les utiliser pour effectuer l'extrapolation. Ces microdonnées, provenant de *l'enquête des ménages et de l'environnement* contenaient uniquement des variables pour la possession d'un système de chauffage et de climatisation, la possession du logement et un vague indice du revenu familial. L'utilisation de données moyennes pour

l'extrapolation demeure tout de même intéressante mais limite la richesse de l'interprétation des résultats.

Une fois que les valeurs moyennes des paramètres du Québec sont intégrées au modèle, nous sommes prêts à calculer l'élasticité prix de long terme. Il suffit maintenant d'effectuer une dérivée partielle par *lkwh* de l'équation (18). Les logs traduisant un pourcentage de changement, la valeur de l'élasticité prix de long terme des ménages québécois s'interprète relativement aisément. L'élasticité prix est la dérivée partielle du log de la consommation par le log du prix. La formule générique est :

$$-E_p = \frac{\partial q}{\partial p} * \frac{p}{q} = \frac{\partial \ln(q)}{\partial \ln(p)} \quad (20)$$

,où *q* représente la consommation d'électricité et *p* le prix de cet électricité.

En reprenant l'équation (20) ci-dessus et en la résolvant pour obtenir l'élasticité prix, nous obtenons l'équation (21) ci-dessous. Celle-ci met en relation le log du prix, *lavgeleprice*, avec l'élasticité prix de long terme :

$$-E_p = \frac{2a*lavgeleprice}{avgeleprice} + \frac{b}{avgeleprice} + \frac{(c*warm)+(d*revenu)+(e*hdd65)+(f*cdd65)}{avgeleprice} \quad (21)$$

Les coefficients *c*, *d*, *e* et *f* représentent les coefficients reliés aux variables d'interaction. Les coefficients *a* et *b* sont liés respectivement à *lavgeleprice2* et à *lavgeleprice*. À ce stade-ci, une fois que le modèle est résolu et que nous obtenons les valeurs des coefficients de l'équation (21) ci-dessus nous obtenons la fonction d'élasticité selon le prix chargé attendu. Ceci s'avère être un avantage comparativement à une simple valeur d'élasticité (lorsqu'il y a non-linéarité, comme c'est le cas ici) dans la mesure où il nous est possible d'estimer l'impact du prix sur la sensibilité des ménages.

7.2 Demande extrapolée pour le Québec

Avant de faire l'analyse de la sensibilité des ménages, nous dégageons certains constats sur la

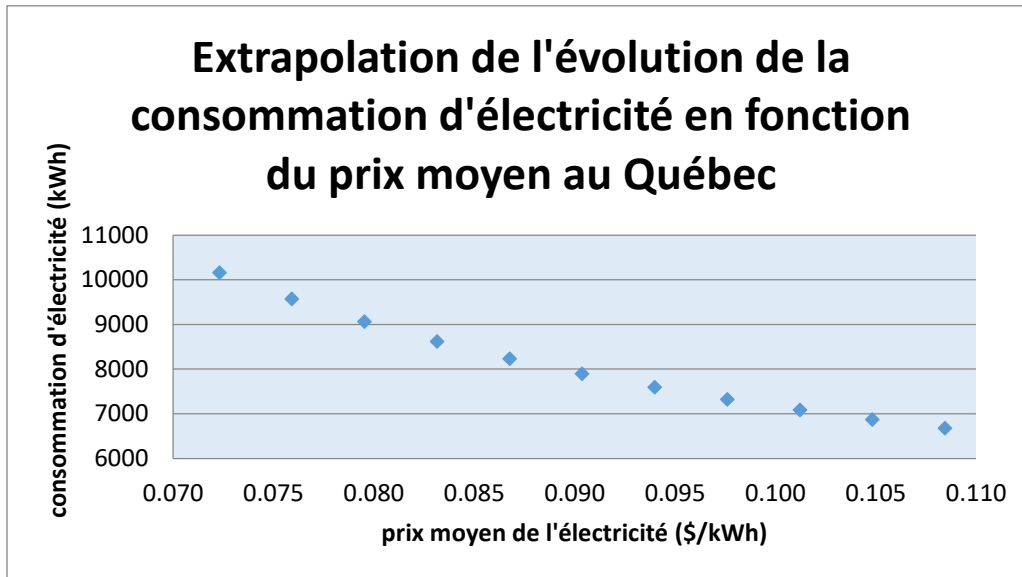
fonction de demande d'électricité extrapolée pour le Québec. L'illustration 29 ci-dessous montre de manière numérique comment la consommation d'électricité diminue à mesure que le prix augmente. Nous utilisons le prix moyen payé au Québec, que nous augmentons à hauteur de 5% afin de voir l'impact de petites variations dans les prix. Comme il est fortement improbable que les prix augmentent de plus de 50% dans les 15 prochaines années, soit l'horizon temporel de long terme, nous nous arrêtons à cette valeur. Bien que jusqu'à maintenant nous avons toujours utilisé les logarithmes du prix et de la consommation, pour la fonction de demande nous n'utilisons pas les logs, de façon à avoir un meilleur aperçu visuel.

Illustration 29

Demande d'électricité selon les observations utilisées pour effectuer l'extrapolation			
Scénario de prix, comparativement au prix moyen (\$/kWh)	Divisions #1 à #5	Ensemble des observations	Nouvelle-Angleterre (division #1)
0,0723	10160	9999	10634
0,0723+5%	9572	9539	9816
0,0723+10%	9064	9132	9136
0,0723+15%	8622	8771	8566
0,0723+20%	8235	8449	8085
0,0723+25%	7894	8160	7676
0,0723+30%	7592	7899	7326
0,0723+35%	7324	7663	7026
0,0723+40%	7084	7449	6767
0,0723+45%	6870	7254	6543
0,0723+50%	6677	7075	6349

L'illustration 30 ci-dessous représente graphiquement la demande d'électricité reliée à la deuxième colonne du tableau ci-dessus. Les graphiques reliés à la troisième et quatrième colonne ont la même forme globale.

Illustration 30



Nous constatons que la diminution de la consommation, à mesure que le prix augmente, semble ralentir. À l'inverse, si nous avions créé le modèle de façon à ce que la demande soit linéaire, la diminution de la consommation se serait accélérée avec les prix. Ces considérations sont abordées davantage dans les deux prochaines sections.

7.3 Élasticité de long terme extrapolée pour le Québec, selon l'origine des observations

Dans cette section, nous réunissons les résultats de notre extrapolation. De façon à voir comment la sélection d'observations spécifiques affecte nos résultats, dans l'illustration 31 ci-dessous nous insérons les résultats selon différents groupes de ménages. En ordre nous avons les divisions #1 à #5 (sélectionnés suite à notre analyse), l'ensemble des ménages américains et la division #1 (soit les ménages de la Nouvelle-Angleterre). Également, comme l'extrapolation nous permet d'obtenir une fonction d'élasticité, il faut choisir un prix. Nous utilisons le prix moyen au Québec (7.23¢/kWh), puis nous augmentons graduellement ce montant afin de voir l'impact sur la sensibilité. L'objectif est de tester pour des scénarios de prix réalistes afin de voir comment, à long terme, la population québécoise aurait tendance à s'adapter selon les nouveaux prix chargés.

Illustration 31

	Élasticité extrapolée des ménages québécois en fonction des observations utilisées et du prix retenu de l'électricité			
	Scénario de prix, comparativement au prix moyen au Québec (7,23cents/kWh)	divisions #1 à #5	ensemble des observations	Nouvelle-Angleterre
Scénario de prix	Moyenne au Québec (7,23¢/kWh)	-0.89	-0.55	-2.02
	plus 5%	-0.87	-0.54	-1.97
	plus 10%	-0.85	-0.53	-1.93
	plus 15%	-0.84	-0.52	-1.89
	plus 20%	-0.82	-0.51	-1.85
	plus 25%	-0.80	-0.50	-1.81
	plus 30%	-0.79	-0.50	-1.77
	plus 35%	-0.77	-0.49	-1.73
	plus 40%	-0.76	-0.48	-1.70
	plus 45%	-0.75	-0.47	-1.67
	plus 50%	-0.73	-0.46	-1.63

Il est possible de générer certains constats suite à ce tableau. D'abord, nos résultats dépendent fortement de la sélection de l'échantillon. Alors que l'élasticité calculée est seulement de -0.55 lorsque nous prenons l'ensemble des observations disponibles (extrapolation naïve), elle est de -0.89 pour les 5 premières divisions et de -2.02 pour la Nouvelle-Angleterre (lorsque nous prenons le prix moyen actuel du Québec).

À l'exception des résultats utilisant les données de la Nouvelle-Angleterre, nos résultats demeurent plausibles lorsque comparés à la littérature. Ils sont légèrement élevés pour l'extrapolation avec les données sur les 5 premières divisions, qui est l'extrapolation qui semble la plus plausible en égard aux analyses faites à la section 6. L'élasticité calculée pour le Québec (dans la littérature) est généralement plus élevée que pour les États-Unis. Bernard(2010) obtenait une élasticité prix de long terme pour le Québec de -1.32, ce qui représente une sensibilité des ménages largement au-dessus de celle que nous avons calculé avec les 5 premières divisions.

Robert (2005), quant à elle, a obtenu une élasticité prix de court terme de -0.81 pour le Québec. Elle n'a pas été en mesure de calculer le long terme, mais sachant que celui-ci est généralement plus élevé tout semble indiquer que si elle l'avait estimé elle aurait obtenu des résultats similaires ou (quantitativement) supérieurs aux nôtres. Aux États-Unis, Fell et al. (2010) ont calculé une élasticité prix de long terme variant entre -0.824 et -1.02, où il a fait le même exercice pour 4 régions différentes (le nord, le sud, l'ouest et le *mid-west* (voir la section 3.7 pour avoir davantage d'informations au sujet de l'élasticité dans la littérature). Ses résultats témoignent également d'une certaine homogénéité dans la réactivité aux prix pour des régions fortement différentes, et tend à renforcer notre hypothèse de convergence comportementale de long terme dans les habitudes de consommation. L'importante différence entre nos résultats lorsque nous utilisons uniquement les observations de la Nouvelle-Angleterre vient cependant témoigner en défaveur de cette hypothèse. Cette différence peut cependant être expliquée par les prix particulièrement élevés de l'électricité dans cette région. Avec une élasticité de -2.02 lorsque nous mesurons avec le prix de base de l'électricité pour le Québec, ce résultat est supérieur à ce qui est généralement trouvé dans la littérature et représente nos résultats les plus extrêmes. Un élément explicatif est donc la très grande différence dans les prix entre cette région et le Québec. Alors, que les autres régions ont des prix davantage similaires à ce que nous pouvons retrouver dans la province canadienne, les prix sont largement plus élevés en Nouvelle-Angleterre, environ le triple. Bien qu'il soit possible d'utiliser notre modèle pour extrapoler malgré que les prix soient totalement différents, le modèle ne peut estimer empiriquement pour les prix qu'il n'a pas observés. Ainsi, le calcul de l'élasticité au niveau de prix du Québec est effectué en prenant la continuité de la fonction d'extrapolation, pour des prix non observés. Ceci est d'autant plus problématique que la fonction de demande que nous avons modélisée est convexe (non linéaire) et que la précision est moindre pour les valeurs de données extrêmes ou peu observées (telles que le prix de l'électricité au Québec lorsque nous utilisons les observations de la Nouvelle-Angleterre). Pour les autres extrapolations, dont celle utilisant les divisions #1 à #5, la différence des prix de l'électricité entre le Québec et ces observations n'est pas aussi prononcée. Également, le nombre d'observations est beaucoup plus grand que pour la Nouvelle-Angleterre et permet de cerner une meilleure variabilité dans les prix, ajoutant de la puissance à l'extrapolation. Alors que cette problématique est rédhibitoire pour le Nouvelle-Angleterre, elle ne pose pas de problème pour les autres régions considérées, qui contiennent une meilleure variabilité des prix et surtout des prix plus similaires à ce qui est retrouvé

au Québec.

Un deuxième constat est que dans l'ensemble des extrapolations, l'élasticité prix de long terme tend à décroître à mesure que les prix augmentent. Cette diminution de la sensibilité extrapolée de long terme des ménages québécois est plausible. Lorsque le niveau des prix augmente les ménages se sont déjà adaptés plus fortement, à la marge (adaptation de court terme). La capacité structurelle excédentaire d'adaptation diminue en conséquence. Il y a un coût marginal croissant à s'adapter aux prix à mesure que ceux-ci sont plus élevés, ce qui rend l'adaptation à une hausse à la marge plus difficile. Selon nos résultats, cette difficulté marginale croissante de modifier sa consommation, à mesure que le niveau des prix augmente, semble relativement importante. Par exemple, dans notre extrapolation pour laquelle nous utilisons les divisions américaines #1 à #5, l'élasticité prix de long terme passe de -0.89 à -0.73 lorsque nous augmentons les prix de 50% (par rapport au prix moyen du Québec). Si la courbe de demande était linéaire, l'élasticité constatée augmenterait avec le prix. L'élasticité décroissante avec les prix est donc une conséquence naturelle de notre fonction de demande d'électricité, qui est non linéaire suite aux tests polynomiaux que nous avons effectué à la section 5.1.1. Comme il a été testé empiriquement que notre modélisation de la fonction de demande est davantage appropriée qu'un modèle linéaire simple, l'obtention d'une élasticité décroissante avec les prix est plausible. Elle est également en adéquation avec la réalité dès lors que nous assumons la difficulté marginale croissante de s'adapter au prix à mesure que ceux-ci augmentent.

7.4 Élasticité de long terme extrapolée pour le Québec, selon les variables explicatives

Suite à la section ci-dessus, nous argumentons que l'utilisation des observations contenues dans les divisions #1 à #5 est le plus adéquat pour effectuer l'extrapolation avec les données du Québec. Dans cette section, nous cherchons à enrichir l'analyse en étudiant l'impact de l'ajout ou de l'omission de certaines variables au modèle caractérisé par notre équation finale, l'équation (18). L'illustration 32.1 ci-dessous met en relation les résultats selon que nous incluons ou non la variable *elwarm* (reliée à la possession d'un système de chauffage électrique) et que nous utilisons ou non les variables d'interaction. L'illustration 32.2 qui succède représente l'élasticité extrapolée des ménages selon le modèle utilisé et le prix espéré de l'électricité. C'est donc la même réalité

mais expliquée différemment qu'avec l'illustration 32.1.

Illustration 32.1

Résultats des régressions selon les différentes équations utilisées			
	équation (18)	équation (18) sans <i>elwarm</i>	Équation (18) sans les variables d'interaction
	lkwh	lkwh	lkwh
lavgelecprice	-1.477***	-2.353***	-3.323***
lavgelecprice2	0.364***	0.497***	0.525***
locataire	0.302***	0.281***	0.312***
elwarm	0.862***		0.264***
intelwarm	-0.242***		
aircond	0.156***	0.165***	0.159***
revenu	-0.0138*	-0.0219**	0.0157***
intrevenu	0.0115***	0.0146***	
nhsldmem	0.116***	0.115***	0.117***
hdd65	0.000445***	0.000451***	0.0000628***
inthdd65	-	-0.000154***	
cdd65	0.00122***	0.00137***	0.000290***
intcdd65	-	-0.000432***	
_cons	8.865***	10.35***	12.47***
R ²	48%	44%	47%

Illustration 32.2

Élasticité extrapolée des ménages québécois en fonction des variables utilisées et du prix retenu de l'électricité			
Scénarios de prix potentiels par rapport à la moyenne québécoise	Équation (18)	(18) sans <i>elwarm</i>	(18) sans les variables d'interaction
Moyenne au Québec (7,23¢/kWh)	-0,89	-1,12	-0,90
plus 5%	-0,87	-1,09	-0,88
plus 10%	-0,85	-1,07	-0,85
plus 15%	-0,84	-1,05	-0,83
plus 20%	-0,82	-1,02	-0,81
plus 25%	-0,80	-1,00	-0,79
plus 30%	-0,79	-0,98	-0,78
plus 35%	-0,77	-0,96	-0,76
plus 40%	-0,76	-0,95	-0,74
plus 45%	-0,75	-0,93	-0,73
plus 50%	-0,73	-0,91	-0,71

Alors que l'illustration 31 montrait l'impact d'un changement d'échantillon utilisé sur la sensibilité aux prix, l'illustration 32.2 ci-dessus témoigne des différences lorsque nous utilisons différentes variables explicatives dans notre modèle, où seules les observations des divisions #1 à #5 sont retenues.

Un premier constat important est que la sensibilité de long terme augmente lorsque nous omettons la variable *elwarm*, qui informe sur la possession d'un système de chauffage électrique par les ménages. Cette différence est statistiquement significative. En l'omettant, la variable prix vient capter l'effet du prix sur la probabilité de posséder un système de chauffage électrique sur le long terme. Comme la possession implique à la fois une consommation d'électricité supérieure et une meilleure capacité à moduler sa consommation totale, il n'est pas surprenant de constater que l'élasticité prix augmente fortement comparativement au cas initial, soit l'équation (18) de base. Cette différence d'élasticité s'interprète donc comme la mesure de l'importance de la décision d'achat d'un système de chauffage électrique afin de s'adapter aux nouvelles réalités tarifaires sur le long terme. Si les prix augmentent de façon importante, une partie des ménages s'ajustera sur le long terme en investissant dans un nouveau système de chauffage plus efficace, ou encore en choisissant une méthode alternative de chauffage. Comme nous ne possédons pas de données sur la consommation de ces dits appareils nous ne pouvons pas nous prononcer sur l'évolution de

l'utilisation de ceux-ci et de leur importance relative dans la consommation totale d'électricité, mais nos résultats tendent à montrer que les consommateurs diminueraient leur utilisation.

Un autre constat pertinent est que l'extrapolation excluant les variables d'interaction nous donne des valeurs presque identiques à l'extrapolation utilisant l'intégralité de l'équation (18). La conclusion de ce constat est que le prix capte peu ou pas, dans l'équation (18), l'impact du prix sur la sensibilité des ménages par rapport aux autres variables explicatives considérées.

Finalement, tel qu'il a été précisé à la section 3.6 la simultanée entre la consommation d'électricité et le prix moyen risque d'induire un biais dans nos résultats. Ainsi, ce biais viendrait faire en sorte que nos résultats sous-estimer l'élasticité-prix de long terme des ménages par rapport à l'électricité, et ce pour tout niveau de prix.

7.5 Implications de nos résultats pour le Québec

Ces résultats nous permettent de générer plusieurs constats en égard au comportement des ménages québécois. D'abord, si les prix augmentent de 10%, nous nous attendons à ce que la consommation d'électricité soit équivalente à 85% de la consommation pré-hausse. Une partie de cette diminution de la consommation proviendrait de la diminution de la probabilité que les ménages investissent dans un système de chauffage électrique (si nous supposons que le prix et l'attractivité des autres alternatives demeurent constants), de même qu'une augmentation de l'efficacité des systèmes de chauffage électrique et d'autres appareils éco énergétiques. La différence importante dans le coefficient relié aux prix lorsque nous n'incluons pas la variable reliée à la possession d'un système de chauffage électrique laisse présager qu'à long terme cette composante, soit cette décision d'investissement ou de rachat, a une grande importance afin d'expliquer les schémas d'adaptation des ménages. Une autre implication, suite à l'étude des variables d'interaction, est que les ménages faisant partie de la classe moyenne élevée sont les plus susceptibles de faire varier leur consommation, notamment en investissant dans de nouveaux appareils. À l'inverse, les ménages situés aux extrêmes de la distribution des revenus risquent de ne peu réagir à cette hausse, les uns en raison d'une capacité moindre à diminuer leur consommation ou à adapter leurs appareils, et les autres en raison du petit pourcentage des dépenses en électricité dans leurs dépenses totales.

Pour les décideurs publics, la modification des prix de l'électricité au Québec est un sujet sensible. La structure tarifaire présentement en place est composée d'une redevance journalière automatique, d'un prix spécifique pour les 30 premiers kWh consommés puis un nouveau prix plus élevé pour les kWh consommés additionnels. Nous avons déterminé que les ménages de la classe moyenne étaient les plus susceptibles de modifier fortement leur consommation suite à des changements significatifs dans les prix. Si l'objectif est de diminuer la consommation intérieure totale il serait envisageable de modifier la tarification de façon à ce que ce soit cette strate de la population qui diminue sa consommation. Par exemple, en faisant passer le seuil entre les deux tarifs de 30kWh à 27kWh, ils tenteraient d'éviter d'atteindre ce seuil. Comme les ménages à revenu inférieur sont moins portés à dépasser ce seuil et ont une faible capacité à modifier leur consommation, cette politique ne les affecterait pas. De façon similaire, il serait possible d'abolir la redevance journalière et d'augmenter les prix pour les deux paliers. Ceci permettrait à la tarification de ne plus être régressive et diminuerait les coûts pour les plus petits consommateurs tout en pénalisant la consommation excessive. Finalement, comme les ménages à revenus supérieurs sont très peu sensibles aux prix et consomment beaucoup plus que les autres, il serait possible de créer un troisième palier de prix, par exemple à 45kWh, qui viendrait taxer fortement ces ménages. Comme nous avons déterminé qu'à long terme une partie importante des ménages s'adapterait à des prix supérieurs en investissant dans de nouveaux appareils (principalement leur système de chauffage) plus écoénergétiques, il serait envisageable de faciliter ces achats à travers des subventions partielles. Les économies d'énergie pourraient être revendues ou réutilisées à des fins générant une plus-value supérieure pour la province et les consommateurs.

8. Conclusion et avenues de recherche

8.0 Récapitulatif

Dans cette présentation, nous avons tenté de répondre à une question en apparence simple : à long terme, quelle serait la réaction des ménages québécois suite à une hausse des prix de l'électricité? Or, pour plusieurs raisons cette question s'avère complexe. D'abord, l'inaccessibilité des microdonnées pour le Québec et la très faible variabilité et volatilité des prix de l'électricité au Québec impliquent qu'il faut utiliser des moyens détournés pour y répondre. À notre connaissance et en conjonction avec ce qui a été trouvé dans la littérature, la façon principale d'y parvenir est l'extrapolation. Nous avons donc utilisé une vaste base de données américaine qui contenait la consommation et les dépenses d'électricité des ménages américains, de même que de nombreuses variables explicatives susceptibles d'avoir une influence sur cette consommation. À la section 5, nous sommes partis d'une équation linéaire simple représentant la consommation d'électricité selon les variables retenues. Puis, par ajouts successifs, dans les sections 5 et 6 nous avons complexifié le modèle de façon à le rendre plus apte à expliquer les comportements que nous désirons comprendre. Dans la mesure où le comportement des ménages américains est relativement hétérogène entre les régions et que les valeurs des variables explicatives ne sont pas du même ordre, une des étapes cruciales fut de déterminer quel échantillon utiliser. Finalement, en utilisant notre modèle final et les observations désirées, nous avons effectué l'extrapolation en intégrant les valeurs moyennes des paramètres conservés pour le Québec au modèle construit avec les données américaines, de façon à prédire les comportements des québécois. Nous obtenons des résultats légèrement au-dessus de ce qui est généralement trouvé pour les États-Unis pour le long terme, et interprétons cette différence par une capacité marginale supplémentaire de s'adapter aux changements de prix chez les québécois.

8.1 Rétrospective

Le prix de l'électricité pour le secteur résidentiel du Québec figure parmi les plus bas au monde²⁸. Les ressources énergétiques alternatives sont donc peu compétitives ; les québécois ont peu d'incitatifs à adopter des produits substitués tel que le gaz naturel. La très grande majorité de

²⁸ <http://www.hydroquebec.com/affaires/tarifs-et-facture/tarifcation/prix-de-lelectricite-ici-et-ailleurs/>. Consulté le 24/11/2016.

l'électricité générée provient de barrages hydroélectriques. Parallèlement, les prix historiquement bas n'ont pas poussé les résidents à adopter des comportements, des équipements et des électroménagers à forte efficacité énergétique (par exemple les thermostats électroniques, l'isolation thermique des immeubles, les machines à laver, etc.). Tous ces éléments viennent renforcer l'idée que le secteur de l'électricité du Québec est atypique relativement à la plupart des autres régions d'Amérique du Nord. Ceci ne vient pas compromettre notre hypothèse que les comportements de consommation de long terme entre les régions considérées devraient converger à long terme, toutes choses étant égales par ailleurs. À court terme cependant, l'implication directe est que les ménages québécois et américains sont fortement hétérogènes dans leur sensibilité aux changements des prix de l'électricité. À long terme, si les circonstances (notoirement le prix de l'électricité) venaient à converger, les ménages québécois en viendraient à adopter des comportements similaires aux autres populations étudiées quant à leur consommation d'électricité puisque leurs schémas d'adaptation et préférences sont comparables. Cette hypothèse s'applique aussi aux différents états américains, toutes choses étant égales par ailleurs. Cette convergence comportementale de long terme est l'un des arguments clés que nous avons tenté d'appuyer durant notre recherche.

Notre méthodologie possède de nombreux avantages dès lors que nous cherchons à estimer le long terme ou l'impact de changements importants dans les prix. Pour des changements à la marge, soit de 1 ou 2 %, d'autres méthodes utilisées dans la littérature offrent plus d'avantages.

8.2 Avenues de recherche

Une piste de recherche potentielle qui permettrait d'enrichir cette recherche serait l'analyse de la sensibilité des ménages québécois selon leurs différentes caractéristiques, tel le revenu et le type d'habitation. Cette analyse supplémentaire serait envisageable pour un chercheur qui serait en mesure de se procurer des bases de microdonnées contenant des informations plus complètes que les nôtres sur les ménages québécois. En revanche, l'étude approfondie des variables d'interaction via la base de données américaine nous a permis de générer de nombreux constats quant à l'évolution de la sensibilité selon diverses caractéristiques des ménages. Sous réserve, ces informations peuvent être utilisées afin de comprendre et d'extrapoler certains comportements

retrouvés aux États-Unis pour les québécois. Nous pouvons affirmer, par exemple, que les ménages faisant partie de la classe moyenne supérieure sont les plus sensibles à l'évolution du prix de l'électricité. À priori, ils sont à la fois plus en mesure de modifier leur consommation que les ménages possédant moins de biens et électroménagers consommant de l'électricité, et pas suffisamment fortunés pour que l'augmentation des prix de l'électricité ne vienne pas affecter leur consommation.

De façon plus générale, dans la mesure où les données disponibles ne permettaient pas d'aller particulièrement en profondeur dans la recherche empirique, le sujet étudié reste passablement large. Or, certaines sous-sections de cette recherche pourraient être approfondies et pourraient apporter davantage de nuance aux propos de notre analyse. Notamment, nous n'avons pas tenu compte de l'effet de la volatilité du prix de l'électricité sur les comportements de consommation. Il semble possible d'argumenter que, toutes choses étant égales par ailleurs et pour un même prix moyen de l'électricité, les résidents de territoires où la volatilité des prix est plus grande risquent d'adopter des stratégies différentes.

Une autre piste de recherche qui pourrait être exploitée est de faire un exercice similaire au nôtre mais en utilisant plutôt les autres provinces canadiennes afin de créer le modèle. Dans le même ordre d'idées, suite à 2010 les prix de l'électricité ont augmenté plus rapidement dans la région de la Nouvelle-Angleterre que partout ailleurs aux États-Unis. Ainsi, alors que pour notre base de données de 2009 le prix moyen constaté pour la région de la Nouvelle-Angleterre était légèrement inférieur au prix moyen américain (0,124\$/kWh contre 0,128\$/kWh), en 2013 le prix résidentiel moyen de l'électricité en Nouvelle-Angleterre était largement supérieur à la moyenne américaine. Il serait intéressant d'étudier comment les ménages de cette région se sont adaptés à cette nouvelle réalité, que ce soit en modifiant leur consommation ou en investissant dans de nouveaux électroménagers.

Également, dans notre analyse de même que dans l'ensemble des études analysées, nous n'avons rien trouvé sur les anticipations des ménages quant à l'évolution des prix. En macroéconomie monétaire, cette variable occupe un rôle vital pour estimer l'inflation. Un chercheur qui réussit à contrôler pour ce paramètre aurait le potentiel d'enrichir significativement

la littérature sur les comportements de consommation d'électricité des ménages. Il est possible de penser, par exemple, que cette variable serait comparable au prix réel de l'électricité pour expliquer l'adaptation des ménages.

En définitive, des lacunes substantielles subsistent dans la littérature concernant la demande d'électricité. La demande résidentielle d'électricité demeure un phénomène dont les ramifications sont encore peu explorées. L'accès à des bases de données fiables, précises et riches en information demeure le principal obstacle à une meilleure compréhension, à tout le moins pour le Québec. Une meilleure compréhension de ce marché permettrait ultimement de prendre des décisions plus éclairées concernant la production, la distribution et la vente d'électricité, que ce soit dans le cadre de développement économique (par exemple à travers une augmentation des exportations ou à travers des subsides à certaines entreprises clé) ou d'équité sociale à travers une tarification qui bénéficie à certains groupes de la population. L'étude approfondie et impartiale de la demande d'électricité devrait donc précéder toute nouvelle régulation ou décision politique ayant un impact, de près ou de loin, sur ce marché.

9. Références bibliographiques :

Alberini, Anna et Filippini, Massimo, (2011). «*Response of residential electricity demand to price: The effect of measurement error*», Elsevier, Energy Economics. 33,889-895.

Bernard, Jean-Thomas (2010). «*A pseudo-panel data model of household electricity demand* », Elsevier, Resource and energy economics. 33,315-325.

Bolduc, André (2015). «*Hydro-Québec*» [document électronique], Historica Canada. Récupéré sur <http://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/hydro-quebec>.

Borenstein, Severin, (2009). «*Electricity pricing that reflects its real-time cost*», NBER Reporter. 2009, 1.

Chaton, Corinne et Doucet, Joseph (2003). «*Uncertainty and Investment in Electricity Generation with an application to the case of Hydro-Québec*», Annals of Operations Research. 120,59-80.

Clark, Robert et Leach, Andrew (2007). «*The Potential for Market Restructuring in Quebec*», CIRANO. 33,1-20.

Dubin, A et McFadden, L. (1984). «*An econometric Analysis of Residential Electric Appliance Holdings and Consumption* », The econometric Society. 52,345-362.

Durocher, René (2015). «*Quiet Revolution*» [document électronique], Historica Canada. Récupéré sur <http://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/hydro-quebec>.

Espey, James (2004). «*Turning on the lights: A Meta-Analysis of Residential Electricity Demand Elasticities*», Journal of Agricultural and Applied Economics. 36,65-81.

Fell, Harrison et al.(2010). «*A New Look at Residential Electricity Demand Using Household Expenditure Data*», Resources for the Future. 33,37-47.

Fontejn, R. et al. (2015). «An assessment of the influence of demand response on demand elasticity in electricity retail market», Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Hadsell, Lester (2011). «*Inefficiency in deregulated wholesale electricity markets: the case of the New England ISO*», Applied economics. 5,515-525.

HEC Montréal, (31 août 2016). «*HEC Montréal signe une entente de collaboration scientifique avec MIT et OURANOS*» [article électronique]. Récupéré sur <http://www.hec.ca/nouvelles/2016/entente-collaboration-scientifique-MIT-et-Ouranos.html> .

Hydro-Québec (2015). «*Comparison of electricity prices in major North American cities.*», [rapport mensuel]. 82 pages. Récupéré sur http://www.hydroquebec.com/publications/en/docs/comparaison-electricity-prices/comp_2015_en.pdf .

Hydro-Québec (2015). «*Rapport annuel*». 122 pages. Récupéré sur <http://www.hydroquebec.com/publications/fr/docs/rapport-annuel/rapport-annuel-2014.pdf>

Kim, Youngsoo, (2016). «*Short Run Price Elasticity of Demand for Energy in the US*», Sam Houston State University. 11 pages.

Mammen, E. et Hardle, W., (1993). «*Comparing nonparametric versus parametric regression fits*», The Annals of Statistics, 21, 4.

McBride, Linden et Austin Nichols, (2016). «*Retooling poverty targeting using out-of-sample validation and machine learning*», The World Bank Review. 0258-6770.

Miller, Mark et Alberini, Anna, (2016). «*Sensitivity of price elasticity of demand to aggregation,*

unobserved heterogeneity, price trends, and price endogeneity: Evidence from the U.S. Data», Elsevier, Energy Policy. 97,235-249.

Molodtsova, Tanya et Papell, David, (2008). «*Out-of-sample exchange rate predictability with Taylor rule fundamentals*», Journal of international economics. 77,2,167-180.

Paul, A et al. (2009). «*A Partial Adjustment Model of U.S. Electricity Demand by Region, Season, and Sector*», Resources for the Future. Document de travail no.08-50. 27 pages.

Pineau, Pierre-Olivier, (2010). «*Le prix de l'électricité au Québec. Des argumentaires en conflit*», Globe, 13, 2.

Reiss, Peter et White, Matthew (2005). «*Household Electricity Demand, Revisited*», Oxford Journals. 72,853-883.

Robert, Maryse (2005). «*Impact de la tarification de l'Électricité au Prix du Marché sur le Secteur Résidentiel : Application à la Province du Québec* » [mémoire de maîtrise], Département des sciences économiques, Université de Montréal. 35 pages.

Robinson, P.M., (1988). «*Root-n-consistent semiparametric regression*», Econometrica. 56, p.931.

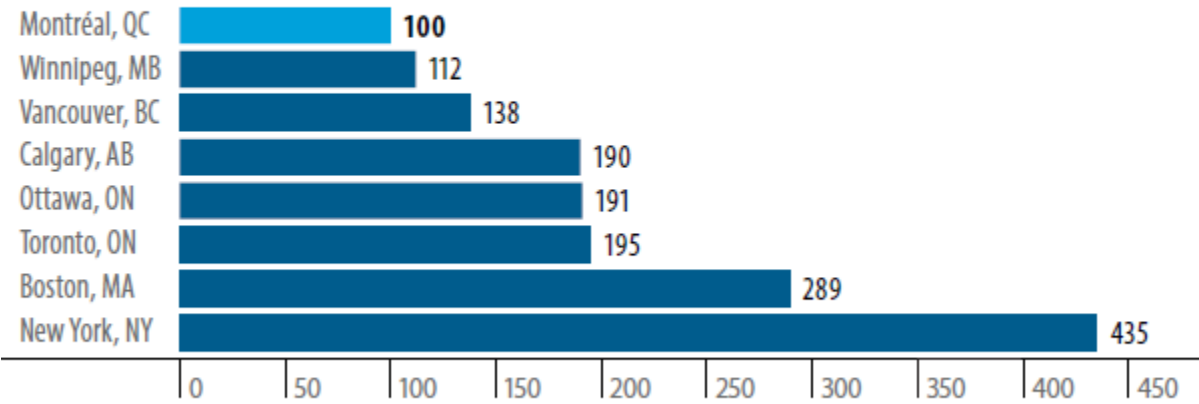
Saunders, Owen (2001, janvier). «*North American deregulation of electricity sharing regulatory sovereignty*», Texas International Law Journal. 36,167-173.

Shin, Jeong-Shik, (1985). «*Perception of Price When Price Information Is Costly: Evidence from Residential Electricity Demand*», Review of Economics and Statistics. 67,591-598.

10. Annexe

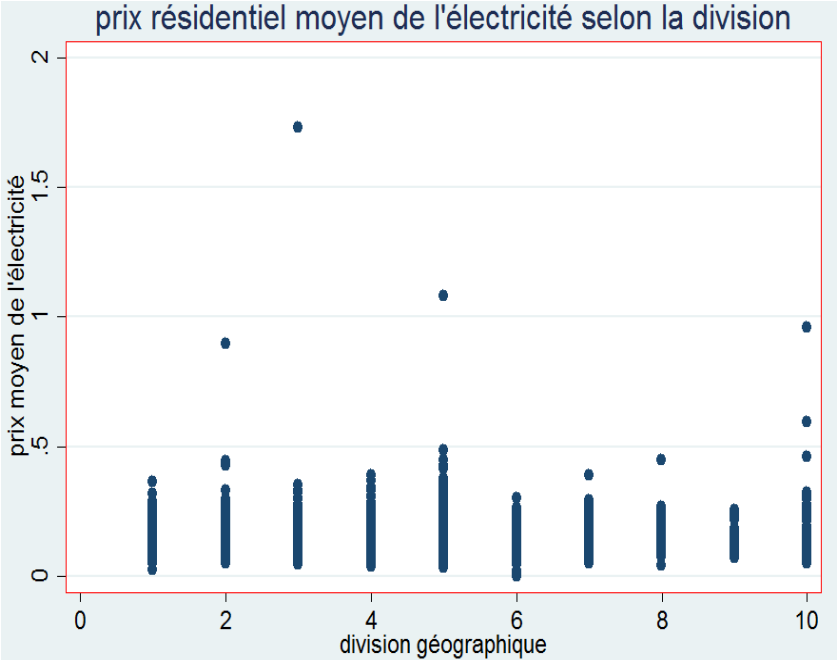
Illustration # 1
Indice des prix résidentiels de l'électricité dans différentes villes nord-américaines

**COMPARATIVE INDEX OF ELECTRICITY PRICES
 AT APRIL 1, 2014 – RESIDENTIAL CUSTOMERS^a**



a) Monthly bill (before taxes) for a consumption of 1,000 kWh.

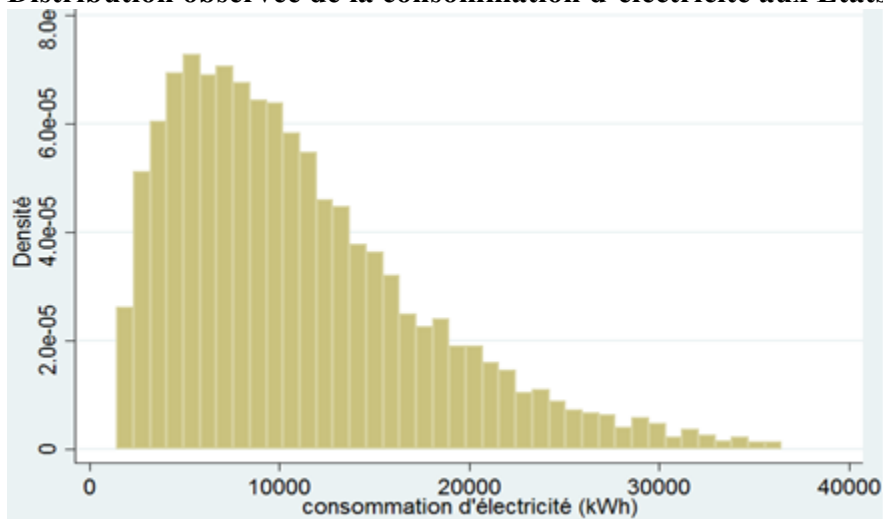
Illustration #2
 prix résidentiel moyen de l'électricité selon la division



Source : Base de données du RECS (2009)

Illustration #3

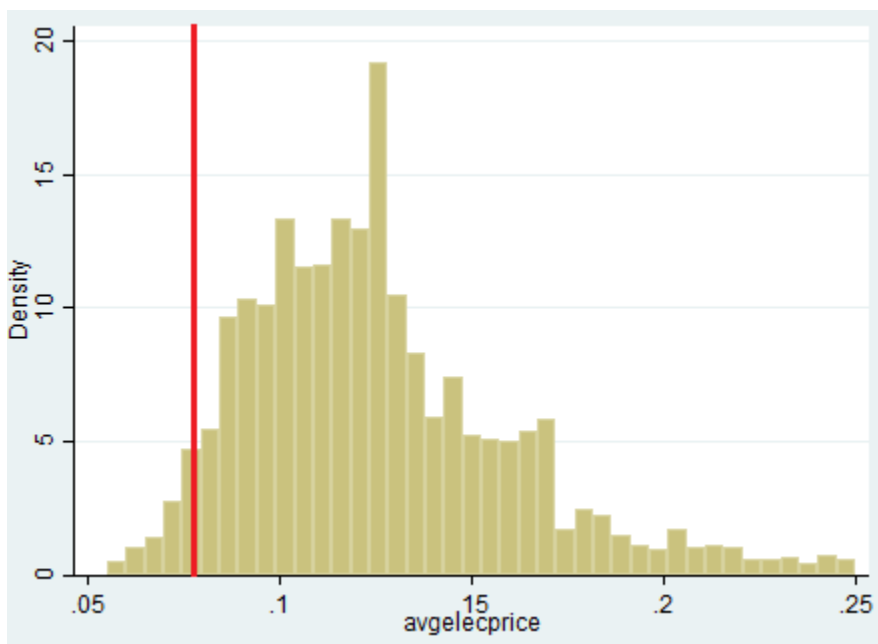
Distribution observée de la consommation d'électricité aux États-Unis en 2009 (RECS)



Source : Calcul de l'auteur

Illustration #4

Distribution observée du prix moyen de l'électricité aux États-Unis en 2009 (RECS)

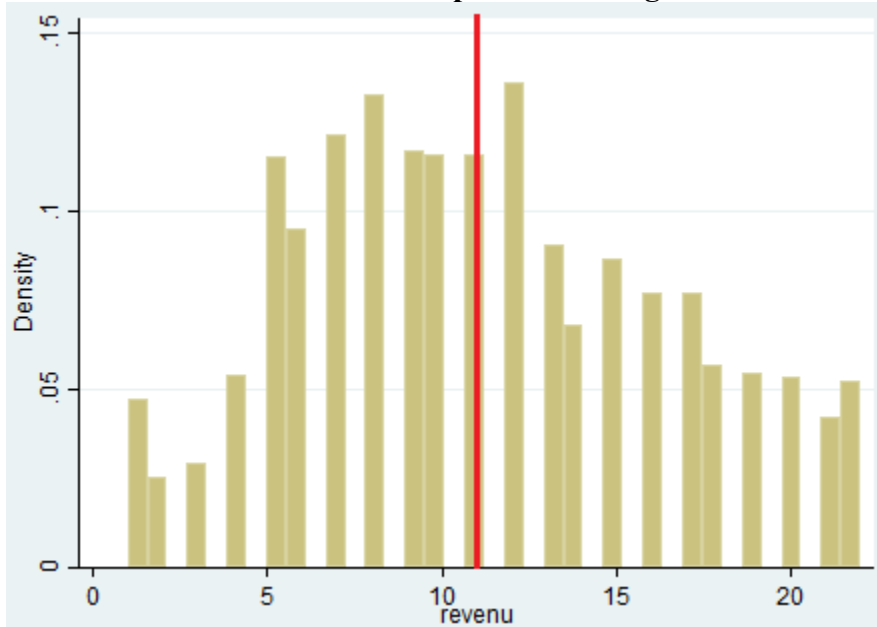


*La ligne rouge représente la valeur moyenne de cette variable au Québec pour 2009.

Source : Calcul de l'auteur

Illustration #5

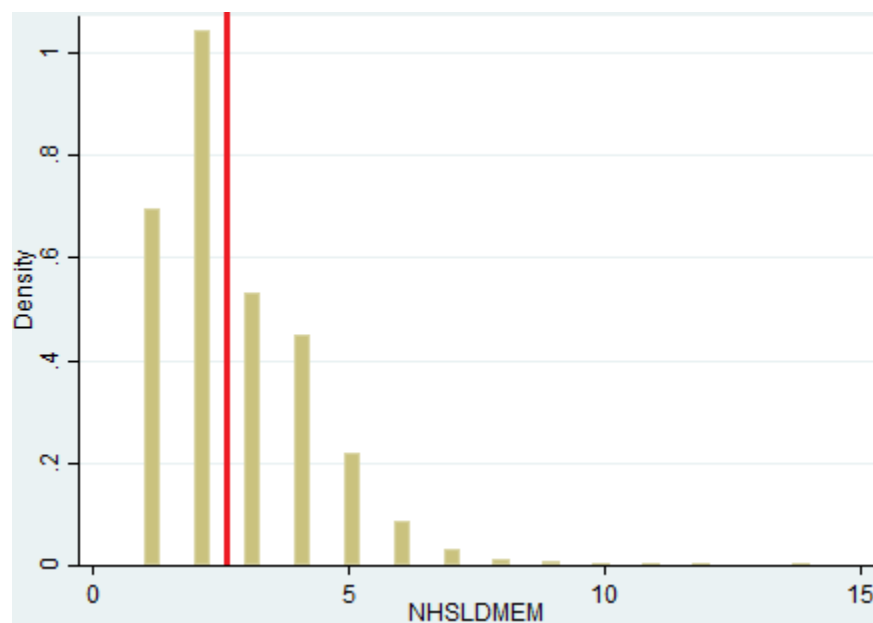
Distribution observée du revenu pour les ménages américains



**La ligne rouge représente la valeur moyenne de cette variable au Québec pour 2009.*

Illustration #6

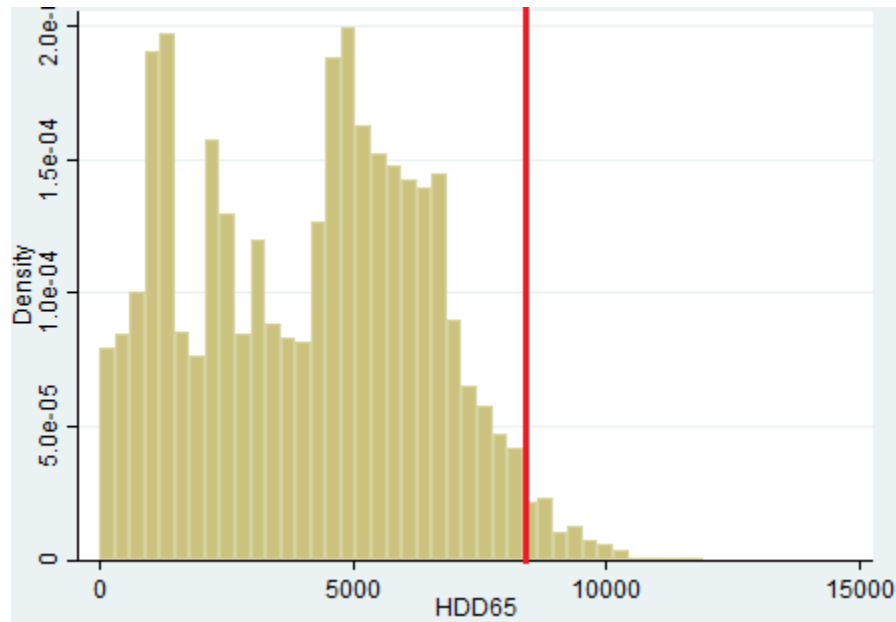
Distribution observée du nombre d'individus dans les ménages américains



**La ligne rouge représente la valeur moyenne de cette variable au Québec pour 2009.*

Illustration #7

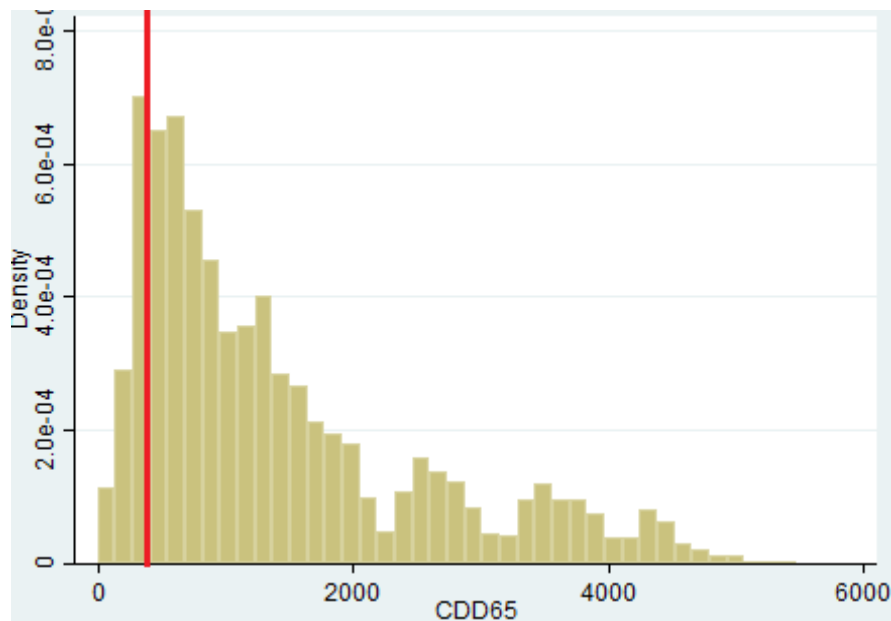
Distribution observée du degré jour de chauffage pour les ménages américains



**La ligne rouge représente la valeur moyenne de cette variable au Québec pour 2009.*

Illustration #8

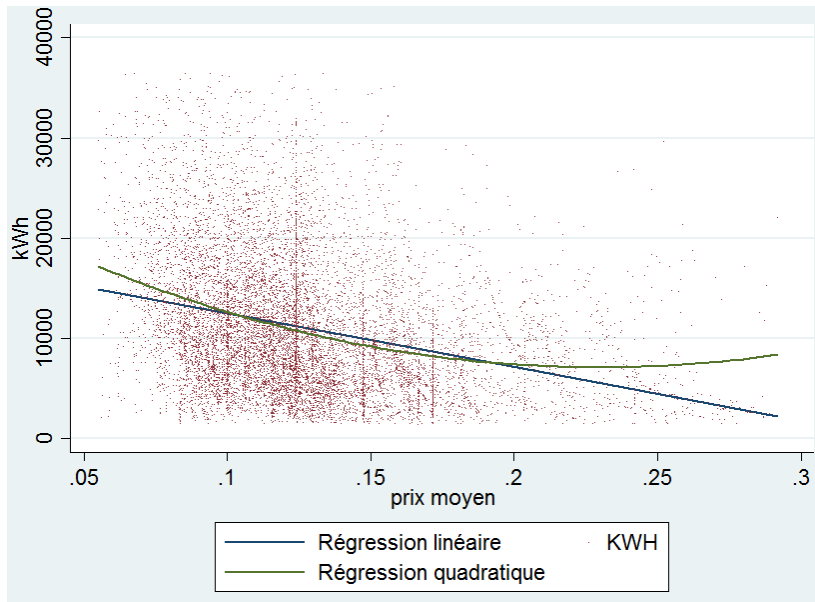
Distribution observée du degré jour de climatisation pour les ménages américains



**La ligne rouge représente la valeur moyenne de cette variable au Québec pour 2009.*

Illustration #9

Régression linéaire et quadratique de la consommation d'électricité (kWh) en fonction du prix moyen



Source : Calcul de l'auteur

Illustration #10

Fonction semi-paramétrique entre le log du prix payé et le log de la consommation d'électricité

