

Identification des bénéficiaires sans contrepartie dans le programme écoÉnergie

Par Dominic Demers

2396222

Mémoire présenté au Département d'économie

de l'Université d'Ottawa

pour l'obtention du diplôme de Maîtrise

Directeur du mémoire: Professeur Leslie Shiell

ECO 7977

Ottawa, Ontario

Mai 2011

Introduction

L'achat d'une maison est fort probablement la plus grosse dépense qu'un individu aura à faire durant sa vie. Afin de maintenir la température à un niveau nécessaire pour affronter les températures Canadiennes, les ménages doivent utiliser un système de chauffage des pièces. Le chauffage des pièces représente environ 60%¹ de toute la consommation d'énergie d'un ménage.

Il y a aussi une externalité liée à cette consommation de l'énergie, soit les émissions de gaz à effet de serre. Les gaz à effet de serre sont des gaz qui absorbent et irradient dans la basse atmosphère la chaleur qui, autrement, aurait été perdue dans l'espace. L'effet de serre est indispensable à la vie sur la planète Terre. Il permet de garder les températures moyennes de la planète suffisamment élevées pour assurer la croissance des végétaux et des animaux. Les principaux GES sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), les chlorofluorocarbones (CFC) et l'oxyde nitreux (N₂O). Le CO₂ est de loin le GES le plus abondant, représentant environ 70 p. 100 des émissions totales de GES². Lorsqu'en trop grande concentration, les GES réchauffent la planète à des températures qui peuvent lui être nuisible. Il faut donc consommer raisonnablement afin de limiter l'impact de notre consommation d'énergie sur la planète terre.

C'est dans cette optique que le Gouvernement du Canada implante certains programmes qui ont pour but de limiter ou réduire l'émission de GES des Canadiens. Avec cette fin en tête, le gouvernement du Canada a créé en 1998, l'Office de l'efficacité énergétique (OEE). L'OEE

¹ http://oeenrcan.gc.ca/corporate/statistics/neud/dpa/tableshandbook2/res_00_1_e_4.cfm?attr=0

² http://oeenrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/donnees_f/glossaire.cfm?attr=0#g

répondre. La principale mission de ce projet est de déterminer dans quelle mesure une subvention influence les choix des consommateurs. Plus particulièrement, ce document tentera de déterminer l'incidence réelle de la subvention accordé par le *Programme écoÉNERGIE Rénovation – Maisons (Le Programme)* sur le choix des consommateurs lors de la rénovation de leur demeure. Selon le rapport d'*Évaluation de l'efficacité énergétique pour l'industrie, les habitations et les bâtiments 2010*³ une estimation de 84% d'efficacité a été attribuée au programme. Il y a donc 16% d'économies d'énergie dû au rénovations des ménages qui ne sont pas attribuables directement au programme.

L'étude actuelle est basée sur un échantillon de 14159 ménages issu de la base de données Écoénergie. Ce sont les données obtenus de l'évaluation que le ménage a fait suite à son inscription au programme. Cette base de données est complémenter avec les données du *United States Department of Energy (USDOE)* et du site *ontariocontractors.com* afin d'obtenir les coûts de chaque rénovation. Malheureusement, cet échantillon ne comprend que les ménages qui ont décidé de faire de rénovations. Donc, on étudie l'effet des subventions à inciter les ménages à augmenter le niveau d'efficacité de leurs achats d'équipements de chauffages et d'isolation, parmi l'ensemble des ménages qui a fait une rénovation. Cette démarche ne tient pas compte des ménages qui n'auraient pas fait au moins une rénovation sans l'initiative de la subvention. Donc, nous ne pouvons pas évaluer l'effet du programme à inciter de nouvelles rénovations. Quand même, savoir l'effet du programme sur l'efficacité des choix est aussi un objectif important.

Pour débiter, il est pertinent de décrire le processus du programme vis-à-vis l'émission de subventions. Premièrement, le programme accorde une subvention pour la rénovation de

³ <http://www.nrcan-rncan.gc.ca/evaluation/reprap/2010/e20100915-fra.php>

pourrait exclure les GES qui aurait été réduit de facto par les free-riders de ceux qui ont été réellement incité par le programme. Il est raisonnable de penser qu'il y aura au moins un free-rider lors de l'implantation de ce type de programme. Il est donc raisonnable de penser que la quantité de GES éliminé par le programme est gonflée par ces free-riders. En déterminant leur proportion, on pourra donc obtenir un meilleur indicateur de performance qui reflète davantage la réalité. Là est le but de ce document, soit de déterminer la part de free-riders afin d'obtenir un meilleur indicateur de performance.

Une méthode possible pour déterminer la quantité de free-riders du programme est de simplement demander aux ménages, à l'aide d'un sondage, s'ils auraient effectué exactement le même type de rénovation s'il n'y avait pas eu de subvention. Premièrement, ce type de méthode doit attendre que le programme soit réalisé avant que l'on détermine lesquels des participants auraient tout de même effectué la rénovation. De plus, il est impossible de vérifier, ex-post, si le propriétaire aurait effectivement fait la rénovation sans subvention.

Par contre, cette étude suit une démarche de Grösche et Vance (2009), qui se base sur les comportements et les choix de rénovations des individus avec et sans subventions.

Puisqu'une subvention affecte le prix des rénovations, nous allons mesurer cet effet sur la quantité et la qualité des équipements dû à cette variation de prix des rénovations. Cette estimation sera faite à partir de la méthode d'estimation mixed logit, qui sera décrit en plus ample détail dans une section plus loin.

À partir de coût obtenus du *USDOE*, du site ontariocontractors.com et de la base de données ÉcoÉnergie, nous avons démontré la présence de free-riders à la hauteur de 20%. La présence de subvention a incité 11573 ménages qui n'auraient pas changé leur fournaise à le faire, et

Revue Littéraire

Il existe une assez grande littérature sur l'efficacité des programmes de subventions énergétiques. Mais pour la démarche utilisée ci-dessous, il y a trois papiers clés à étudier, à savoir Grösche et al. (2009), Grösche et Vance (2009), et Cameron (1985).

Grösche et al. (2009) utilisent les données d'un sondage de 2128 ménages, en Allemagne, dans l'absence de subvention, et tente de savoir si l'introduction d'un incitatif financier affecte la décision des ménages dans leur choix de type de rénovations. Tout comme ce projet, ils débutent en estimant les choix des ménages en fonction des coûts et des bénéfices de chaque rénovation possible et des caractéristiques du ménage. Ensuite, avec ces paramètres, ils introduisent un certain pourcentage de réduction sur le coût des rénovations, afin de simuler l'effet de subvention.

Tout comme ce projet, les coûts sont des estimés techniques en fonction des caractéristiques des maisons. Ils utilisent le coût moyen des ménages afin de bâtir leur variable de coût global.

Ils choisissent le modèle de type conditional logit comme point de départ. Cependant, ils y rajoutent des termes d'erreur qui s'applique uniquement au sein du sous-ensemble de rénovations à l'aide de variable binaire. Cet ajout impose une certaine corrélation dans la structure des différentes alternatives, pour contourner l'hypothèse forte de « Independence of Irrelevant Alternatives ». Les résultats obtenus montrent que plus les coûts augmentent, plus la probabilité d'occurrence diminue, L'effet contraire survient pour les bénéfices associés à la

Le modèle choisit pour estimer les résultats est un modèle de choix discret. Ce modèle permet de prédire des choix en comparant l'utilité des types de rénovations effectués. Donc, si l'utilité d'une combinaison est supérieure à une autre, la première combinaison sera choisie. Dans leur cas, ils mesurent l'utilité en fonction du coût de la combinaison de réparation ainsi que certaines autres caractéristiques du ménage (salaire). Plus précisément, ils présument que l'utilité sera positivement affectée par les bénéfices reçus par les rénovations et négativement par le coût, tout en conditionnant pour les caractéristiques économiques du ménage. Ils présument aussi que le niveau de consommation d'énergie influence positivement le choix des consommateurs. Plus un ménage consomme, plus il sera tenté de faire des rénovations qui diminueront cette consommation pour ainsi diminuer ses coûts liés à l'achat de carburant de chauffage. Il y a aussi une composante régionale spécifique à l'Allemagne où la qualité des maisons diffère d'une région à l'autre.

La section résultats commence par répertorier les estimations des coefficients ainsi que le « model fit » pour 4 types de modèle logit. Les 2 paramètres les plus pertinents, le coût et le bénéfice, ont des signes négatifs et positifs, respectivement, sur l'utilité tel qu'anticipé. Tous deux sont significatifs. À noter, que selon leur résultat, une consommation d'énergie plus élevée semble atténuer les effets négatifs du coût et positifs des bénéfices. Le terme d'accès à l'information varie aussi dans le même sens que ce dernier terme. Le terme du revenu, tant qu'à lui, accentue l'effet négatif du coût. La composante régionale permet d'établir que les maisons de l'est de l'Allemagne, plus vieille, trouvent plus utile l'investissement dans les rénovations éco-énergétiques que leur compatriote de l'ouest.

Finalement, les auteurs terminent en calculant le consentement à payer pour diminuer la consommation d'énergie d'un ménage. Ce consentement peut être obtenu par calculant le

rénovations des équipements qui retiennent la chaleur. Ce papier désagrège au niveau du ménage et tient compte de plusieurs de ses caractéristiques. Aussi, il tient compte de l'environnement du ménage tel le coût de l'énergie et le climat. L'auteure tente ensuite d'en venir à une estimation d'un modèle à partir d'un modèle à choix multiple. Suite à cette estimation, certains scénarios sont utilisés afin de prédire le comportement des ménages sous certaines hypothèses.

Le modèle de demande d'énergie est issu de deux composantes principales, soient l'efficacité du système de chauffage et du système de rétention de ce chauffage ainsi que le niveau d'utilisation. Afin de déterminer les coûts associés aux rénovations, l'auteure attribue une contrainte de budget avec les rénovations et une autre sans les rénovations. Simultanément, cet ajout du coût de rénovation à la fonction de budget entraîne une diminution de la part de budget alloué au chauffage des pièces puisque la rénovation va améliorer l'efficacité du système de chauffage et/ou la rétention de ce chauffage. Le ménage va donc choisir la rénovation qui va maximiser l'utilité tout en respectant la contrainte de budget.

Les données proviennent du « National Interim Energy Consumption Survey » de 1977-1978 et possède un échantillon de 1761 ménages avec certaines caractéristiques. Les données par rapport aux coûts et à l'efficacité ont été combiné à diverses autres sources de données d'ingénierie. Pour ces ménages, 8 combinaisons possibles de 3 choix ont été considérés pour les fins de cette étude.

L'estimation se fera, en première partie, par « ordinary multinomial logit » à travers les 7 combinaisons où au moins une rénovation a été effectuée, pour ensuite utiliser ces facteurs dans un modèle binomial. Les résultats montrent que le prix pour entreprendre les

La maison en tant que système

Avec les années, il y a une dépréciation des toutes les composantes de la maison. La maison comme tel est un système très complexe regroupant plusieurs composantes. Certaines sont esthétique, qui relève davantage du goût de l'acheteur, et donc qu'un indicateur de qualité et un prix sont plus difficile à mesurer. D'autres composantes, telles les équipements et les matériaux choisis pour construire et rénover la maison sont plus facile à y attacher une valeur ainsi qu'un indicateur de qualité. Il en reste néanmoins que le choix parmi les équipements peut s'avérer tout de même fort difficile à analyser puisque ce choix aura une incidence sur le budget présent et futur de l'acheteur. En effet, tandis que l'effet qu'aura le prix d'un équipement auxiliaire sur le budget actuel d'un individu est relativement simple à mesurer, l'effet que cet achat aura sur le budget futur est plus complexe à mesurer et trop souvent négligé. Plusieurs composantes financières devront être considérées lors de cet achat et les effets que ces choix auront sur le budget actuel et futur sont loin d'être marginale.

Tous les équipements achetés pour les besoins de notre ménage possèdent un coût initial, cependant certains posséderont aussi un coût à l'utilisation qui variera en fonction de l'activité et l'efficacité. Par exemple, l'achat d'un divan pour meubler son salon possède un coût initial, mais ce coût n'augmentera pas si on l'utilise 1 heure par jour ou 10 heures par jour. L'effet du niveau d'utilisation et de l'efficacité ne s'appliquera pas lors de ce genre d'achat⁵.

D'un autre coté, nous avons l'achat de biens qui possèdent des coûts à l'utilisation. Dans cette catégorie, on retrouve les téléviseurs, les systèmes de chauffage et les cuisinières pour ne nommer que ceux-ci. Ce type d'équipement aura non seulement un coût initial, mais ils

⁵ Mis à part la dépréciation.

afin de minimiser le flux de chaleur à travers les murs, plafond et plancher. L'isolation sert à maintenir une maison confortable et de réduire les coûts de chauffage et de refroidissement. Dans cette catégorie d'achat, on retrouve, en autres, les portes, les fenêtres, l'isolation des murs et le calfeutrage. Toujours en possédant un coût initial, cette catégorie possède un niveau d'efficacité, mais ne possède pas de coût à l'utilisation. Par exemple, le coût total des fenêtres n'augmentera pas en fonction de l'utilisation qu'on en fait. Cependant, si la fenêtre est de mauvaise qualité, c'est-à-dire que son efficacité à maintenir la chaleur (ou la fraîcheur) à l'intérieur de maison, est mauvaise, alors les coûts de chauffage vont augmenter. Bref, la qualité de la fenêtre aura un impact indirect sur le budget futur du ménage qui se caractérisera par une augmentation des frais de chauffage. L'utilité de l'achat devra donc se mesurer sur un période plus longue que la période de l'achat puisque certains de ces équipements ont une incidence sur les budgets des périodes futures.

Le but du gouvernement est donc de catalyser l'achat de bien écoenergétique afin de limiter les GES. Ce document tentera de mesurer l'effet de la subvention en regardant le comportement de 14159 ménages, tirés d'un échantillon collectionné par l'Office de l'Efficacité Énergétique dans le cadre du Programme Écoénergie, lorsqu'ils ont effectué une rénovation sur leur système de chauffage, de l'isolation du sous-sol ou du grenier. La quantité de rénovation effectuée sera analysée ainsi que l'efficacité des rénovations choisies pour l'ensemble de l'échantillon. Évidemment, d'autres types de rénovations vont être affectés par la subvention du gouvernement, mais ils sont hors de la portée de ce papier.

où z_i est un vecteur de caractéristiques propres aux ménages, α_j est le vecteur des coefficients des caractéristiques des ménages (spécifiques à chaque combinaison j), C_{ij} est le coût de l'option j pour le ménage i, ES_{ij} est l'économie d'énergie obtenue pour le ménage i de l'option j, β_1 et β_2 sont les coefficients, et ε_{ij} est le terme d'erreur aléatoire. Les caractéristiques du ménage inclus dans le vecteur z_i sont le revenu et la consommation d'énergie initiale (avant rénovation).

L'inclusion de revenu est simple. L'inclusion de la consommation d'énergie initiale reflète l'idée que, toutes choses étant égales par ailleurs, les différents niveaux de cette variable sont susceptibles d'affecter l'utilité tirée des options de rénovation. Par exemple, pour une valeur donnée d'économie d'énergie et de coût, un ménage avec une consommation élevée d'énergie initial peut placer une prime plus élevée sur la réduction de sa consommation d'énergie qu'un ménage à faible consommation d'énergie.

En supposant que le terme d'erreur ε_{ij} est identiquement et indépendamment distribué sous forme de type 1 des valeurs extrêmes, alors nous avons le modèle logit conditionnel⁶. Dans ce cas, la probabilité que le ménage i choisit l'option de rénovation j est donnée par

$$P_i(j) = \frac{e^{\alpha_j z_i + \beta_1 C_{ij} + \beta_2 ES_{ij}}}{\sum_{k=1}^4 e^{\alpha_k z_i + \beta_1 C_{ik} + \beta_2 ES_{ik}}} \quad (2)$$

Afin d'assurer la détermination (voir Greene, 2003, 721), nous choisissons l'option de ne rien rénover comme base et fixons $\alpha_j = 0$ pour cette option.

⁶ Aussi appelé mixed logit dans la forme actuelle qui comprend et les caractéristiques des options de rénovations et des ménages.

Variables de coûts de système de chauffage.

Le but de ce projet étant de mesurer l'effet des subventions sur la quantité et la qualité des rénovations effectuées, j'ai donc dû catégoriser et ensuite trouver un prix minimal¹¹ pour chacune des catégories de système de chauffage recevant une subvention. En ayant déjà les valeurs des subventions de l'OEE, il fallait que je trouve les prix de chacune des catégories de système de chauffage recevant une subvention afin de déterminer la part que représente cette subvention. C'est en utilisant la base de données de l'OEE conjointement avec la base de données des prix de système de chauffage du USDOE¹² que j'y suis parvenue.

Premièrement, le *USDOE* qui a analysé toutes les composantes d'un système de chauffage pour en déterminer les prix. Ils sont donc arrivés à publier un large éventail des prix de types de système de chauffage en fonction de l'efficacité (en AFUE¹³), du carburant et de certaines composantes. Parmi cet éventail, j'ai choisis ceux qui possédaient le coût minimal se qualifiant pour la subvention canadienne en fonction de l'efficacité et du carburant. Je me retrouvais donc avec des prix pour les types suivants : chaudière à gaz et à l'huile, Fournaise au gaz et à l'huile avec et sans moteur DC. Bémol, l'ensemble d'efficacité donnée par le *USDOE* ne couvrait pas l'ensemble compris dans la base de données de l'OEE, j'ai donc dû extrapoler les valeurs manquantes pour couvrir tout l'ensemble de l'OEE. De plus, j'ai actualisés les valeurs en dollars de Canadien de 2010.

La deuxième étape consistait à catégoriser les systèmes de chauffage de manière pertinente. Il y a 3 variables dans les données écoénergie qui permettent de déterminer quel type de système de chauffage le ménage possède initialement, le type de carburant, le type de

¹¹ Le prix le plus bas de chaque catégorie qui rencontre les critères pour être admissible à la subvention.

¹² http://www1.eere.energy.gov/buildings/appliance_standards/residential/furnaces_boilers_1113_r.html

¹³ annual fuel utilization efficiency

J'ai regroupé les systèmes de chauffage du fichier de coûts (USDOE) et du fichier de l'OEE de manière à correspondre à la table de subvention pour ensuite les réunir. Ultimement, ce nouveau fichier contenait maintenant les prix et les subventions reçues pour chacun des systèmes de chauffage choisis. Le tableau suivant décrit les 12 types de système de chauffage en fonction de leur efficacité, de leurs coûts et de leurs subventions :

Table 2
Système de chauffage par efficacité, coût et subvention

Type de système	Efficacité (AFUE ¹⁴)	Coût brut ¹⁵ (\$2010)	Subvention fédérale ¹⁶ (\$2010)	Coût Net – Ontario (\$2010)	Coût Net – Québec (\$2010)	Fréquence
chaudière haute efficacité au gaz;	[90-100]	6899 \$	750\$	5399 \$	6149 \$	137
fornaise à haute efficacité au gaz;	[94-100]	4647 \$	650 \$ ¹⁷	3347 \$	3997 \$	11402
chaudière à haute efficacité à l'huile;	[85-100]	8016 \$	750 \$	6516 \$	7266 \$	5
fornaise à haute efficacité à l'huile;	[94-100]	5347 \$	650 \$ ¹⁸	4047 \$	4697 \$	1
chaudière à basse efficacité au gaz;	[0-90[	4888 \$	0 \$	4888 \$	4888 \$	0
fornaise à basse efficacité au gaz;	[0-92[	3252 \$	0 \$	3252 \$	3252 \$	8
chaudière à basse efficacité à l'huile;	[0-85[	5443 \$	0 \$	5443 \$	5443 \$	0
fornaise à basse efficacité à l'huile;	[0-85[	3934 \$	0 \$	3934 \$	3934 \$	3
fornaise à efficacité standard au gaz sans moteur DC;	[92-94[	3967 \$	375 \$	3217 \$	3592 \$	7
fornaise à efficacité standard au gaz avec moteur DC;	[92-94[	4288 \$	625 \$	3038 \$	3663 \$	3
fornaise à efficacité standard à l'huile;	[85-94[	5295 \$	375 \$	4545 \$	4920 \$	45
Aucun achat	-	0 \$	0 \$	0 \$	0 \$	0

¹⁴ AFUE – Annual Fuel Utilization Efficiency

¹⁵ Les coûts sont augmentés de 25% s'il y a un changement de type de carburant d'alimentation. Source: OEE

¹⁶ La subvention de l'Ontario égale le montant que le fédéral, tandis que le gouvernement du Québec n'émet pas de subvention pour ces systèmes de chauffage.

¹⁷ Ce montant augmente à 790\$ si c'est la première fournaise à haute efficacité que le ménage installe.

¹⁸ Ce montant augmente à 790\$ si c'est la première fournaise à haute efficacité que le ménage installe.

Les coûts proviennent du site internet [Ontariocontractors.com](http://www.ontariocontractors.com)¹⁹. Premièrement, j'ai dû déterminer quels ménages avait effectué une rénovation de l'isolation en comparant leur isolation initiale et celle obtenu lors de la deuxième évaluation. Ensuite, afin d'obtenir les coûts d'isolation du sous-sol et du grenier, j'ai utilisé un prix de 2\$ par R-20 par pied carré et de 1\$ par R-10 par pied carré respectivement. Puisque l'OEE mesure la valeur de l'isolation²⁰ à la première évaluation, j'utilise le coût réel pour arriver à l'objectif d'isolation de R-40 pour le sous-sol et de R-50 pour le grenier. Donc, afin de déterminer les coûts bruts, j'ai donc calculé la quantité d'isolation à ajouter pour ensuite la multiplier par la superficie de la maison. Pour la variable des coûts de l'isolation, je devais déterminer le périmètre de la fondation ainsi que la hauteur des murs²¹. Par la suite, les subventions ont été soustraites aux coûts bruts pour obtenir les coûts nets qui seront utilisés.

Table 3
Coût, subvention et fréquence par type d'isolation

Type d'isolation	Coût moyen brut	Subvention moyenne	Fréquence
Isolation du Grenier	3268.97 \$	994.73 \$	3414
Isolation du sous-sol	1173.34 \$	1190.74 \$	1474

Économie d'énergie

La base de données de l'OEE contient des variables de consommation pour le système de chauffage. Alors, en prenant la consommation du système de chauffage existant et en déduisant la consommation du nouveau système de chauffage, on obtient l'économie d'énergie obtenu par le remplacement du système. Évidemment, un ménage n'achète qu'un seul système, donc une économie d'énergie moyenne, parmi les ménages ayant choisi les

¹⁹ <http://www.ontariocontractors.com/costs.htm>

²⁰ La valeur R

²¹ J'ai pris comme hypothèse que les murs étaient de 8 pieds de haut et n'ayant pas d'information pour

déterminer la forme du sous-sol, j'ai supposé que le sous-sol était carré.

ménage, j'ai pu réconcilier les 2 bases de données afin d'attribuer le salaire moyen de son FSA à chaque ménage.

Table 5
Revenu moyen par ménage

Revenu moyen (\$)	Ménages
38228.79	14159

Variables de consommation d'énergie initiale

Cette variable a été directement pigée de la base de données de l'OEE. Elle mesure la quantité d'énergie totale consommée par le ménage avant les rénovations. Cette variable permettra de mesurer si la consommation avant les rénovations affecte le type et la quantité de rénovation effectuée.

Table 6
Consommation Initiale moyenne par ménage

Consommation Initiale moyenne (MJ)	Ménages
177259.01	14159

ajoute des « dummy regressors » pour conditionner les effets de revenu et de consommation initiale. L'interprétation des coefficients obtenus n'est pas directe, il faut convertir ses coefficients en probabilités afin de bien saisir leur signification. Les coefficients ne font que déterminer quelle est la probabilité d'occurrence, sachant qu'il y aura une occurrence parmi le groupe. Il faut donc estimer une probabilité d'occurrence de chaque combinaison qui fait abstraction des effets de revenu et de consommation initiale afin de créer des résultats pertinents.

Où θ_j représente la variation de la probabilité d'occurrence de la combinaison j (P_j) en fonction de la caractéristique i (x_i) et β_i représente le coefficient de la caractéristique i .
On peut obtenir l'ensemble de ces élasticités en annexe dans la table 21.

L'analyse de l'effet des variables de consommation initiale d'énergie et du revenu ne peut se faire directement avec les coefficients obtenus lors de l'estimation. En effet, ces coefficients ont une relation complexe avec leurs effets sur les probabilités d'occurrence. Tout d'abord, afin d'obtenir la variation delta, δ_j , de la probabilité d'une option en fonction d'une caractéristique du ménage, il faut utiliser les probabilités du ménage et des coefficients estimés. L'équation suivante, tiré de Greene (2003)²², démontre la méthode à utiliser afin d'obtenir cette variation:

$$\delta_j = \frac{\partial P_j}{\partial x_i} = P_j (\beta_j - \bar{\beta}) \quad (3)$$

Où δ_j représente la variation de la probabilité d'occurrence de l'option j (P_j) en fonction de la caractéristique du ménage (x_i), β_j représente le coefficient de l'option j obtenus lors de l'estimation et $\bar{\beta}$ représente la moyenne de ces coefficients. Si la variation pour une option j est positive, alors une augmentation de la caractéristique i entraînera une augmentation de la probabilité d'occurrence de la combinaison j . Les coefficients pour les variables de consommation initiale et de revenu seront analysés ici, pour obtenir les valeurs détaillées de chaque coefficient, veuillez vous référer à l'annexe.

²² Page 722, equation 21-47

Simulation

Par définition, la variable de coût net utilisée lors de l'estimation contient la subvention des gouvernements provinciaux et fédéraux. Ce faisant, les estimées obtenus permettent donc de prédire la quantité et la qualité des rénovations sous ce programme. Le but de ce projet étant de trouver le comportement des ménages sans ces subventions, j'ai donc éliminé la part de subvention, G_{ij} , du coût net et obtenus de nouvelles estimations des probabilités des options des de rénovations selon l'équation (2). Puisqu'en l'absence de subvention, $G_{ij} = 0$, on aura donc de nouvelles probabilités d'occurrence estimé à partir des coefficients obtenus avec le modèle contenant la subvention. Les résultats détaillés sont présentés en annexe et seulement les résultats agrégés seront présenté ici²⁶.

Quantité de rénovations

Premièrement, la simulation nous donne des résultats qui suivent nos anticipations, soit que la présence de subventions incite les gens à rénover. Effectivement, la quantité de système de chauffage à haute efficacité augmente largement, et ce, au détriment des ménages qui ne font pas de rénovation du système de chauffage.

La table 5 donne les résultats. Tel qu'anticipé le nombre de ménages n'effectuant pas de changement de système de chauffage augmente drastiquement lorsqu'on simule l'élimination des subventions, passant de 2417 ménages à 13 990 ménages. On remarque aussi que la subvention incite les ménages à choisir un système plus efficace que celui qu'il aurait autrement choisis. En effet, les systèmes à basse efficacité et à efficacité standard passent de 21 à 16 et de 92 à 53 respectivement avec l'introduction de la subvention. Étant donné que la

²⁶ Puisque seulement le nombre total de chaque type est pertinent et non la combinaison dans lequel il se retrouve, seulement le total pour chacun des types de rénovations sera présenté.

Nombre d'amélioration à l'isolation du grenier	3,442	7,048	-3,606
Nombre d'amélioration à l'isolation du sous-sol	1,475	1,477	-2
Nombre de ménages ²⁷	14,159	14,159	0

Coûts des rénovations

D'un angle financier, la présence de subvention ne fait pas varier les coûts bruts de chaque rénovation comme telle, elle ne fait que transférer une partie du paiement du contribuable au gouvernement. Cependant, puisque plusieurs ménages sont incités à changer leur système de chauffage grâce à la subvention, la somme des coûts va augmenter grâce à l'augmentation des rénovations entreprises. Tel que l'indique le tableau ci-dessous, l'introduction de la subvention fait passer les coûts totaux de rénovations de 13 million \$ à près de 32 million\$ pour notre échantillon de 14 159 ménages. Cette forte augmentation est principalement due à la vente de 11 618 nouveaux appareils à haute efficacité. Effectivement, à un coût variant entre 4500\$ et 8000\$, les systèmes de chauffage à haute efficacité sont très dispendieux ce qui fait augmenter les coûts totaux, cependant, la subvention associée à ce type de système est aussi très généreuse et peut monter jusqu'à 1580\$²⁸. Au total, tout près de 23 millions \$ ont été accordés sous le programme depuis le 30 novembre 2009.

Table 10
Coût des rénovations effectuées avec et sans la subvention

Coût total net avec les subventions	Coût total sans les subventions	Différence
\$31,660,834.72	\$13,437,447.78	\$18,223,386.94

Consommation d'énergie

L'aspect le plus pertinent pour les responsables du programme est sans-contredit la diminution des pertes de chaleur. Le but premier du gouvernement est de réduire les GES liée

²⁷ Veuillez noter que le nombre de ménages n'arrive pas à la somme des rénovations puisqu'un ménage peut avoir effectué plus d'une rénovation.

²⁸ Pour une description complète des coûts et subventions par rénovation, veuillez vous référer à l'annexe A.

Où P_{ij} et P'_{ij} représente la probabilité de la rénovation i soit choisie pour le ménage j sous le scénario avec une subvention et sans subvention respectivement. C_{ij} et C'_{ij} représentent les coûts de rénovations i pour le ménage j sous le scénario avec une subvention et sans subvention respectivement.

Ensuite, nous prévoyons que le total des dépenses de rénovation soit plus élevé lorsque les subventions sont en place. Or, en raison des free-riders, l'augmentation des dépenses de rénovations n'est pas aussi grande que le montant total des subventions. Par conséquent, nous pouvons mesurer les free-riders en soustrayant Delta(coût) du montant des subventions accordés. On a donc :

$$\text{Free-riders} = \sum \sum P_{ij} G_{ij} - \text{Delta}(\text{Coût}) \quad (5)$$

Les free-riders peuvent aussi être représenté sous forme de proportion :

$$\text{Free-riders} = (\sum \sum P_{ij} G_{ij} - \text{Delta}(\text{Coût})) / (\sum \sum P_{ij} G_{ij}) \quad (6)$$

Où G_{ij} est la subvention obtenue pour la rénovation i du ménage j .

Le tableau ci-dessous nous montre que la part de free-riders est de près de 20%

Table 12
Estimation des free-riders

Augmentation des coûts du au programme	Subvention accordée	Montant alloué au Free-riders (différence)	Pourcentage de free-riders
\$18,223,386.94	22,895,190	\$4,671,802.89	20.41%

Une autre manière de calculer les free-riders est de calculer la part des subventions qui va aux ménages qui auraient entrepris les rénovations sans les subventions. Le programme Ecoénergie a alloué une subvention à un ensemble de ménages. Parmi cet ensemble, il y a un sous-ensemble de ménages qui auraient effectué la rénovation même si il n'y avait pas eu de programme. Le second scénario simulé nous a permis d'estimer ce sous-ensemble. En réalité ces ménages on tout de même eu droit à une subvention puisqu'il est impossible de les

Conclusion

Peu importe le programme de subvention implanté, il est impossible d'éliminer la part de free-riders que ce programme va contenir. On ne peut pas déterminer à priori quels ménages vont effectuer la rénovation sans la subvention accordée. En analysant le comportement des ménages qui ont déjà reçu une subvention, ce projet permet de mesurer la part des free-riders que le programme pourrait contenir dans le futur. Il permet aussi de déterminer la part de ménages qui ont bénéficié inutilement d'une subvention. Il est aussi très utile puisqu'il permet d'estimer l'impact réel du programme.

J'ai analysé les décisions des ménages en utilisant la base de données du programme Écoénergie ainsi que différentes sources pour obtenir les coûts de rénovations. Les résultats suivent mes anticipations et j'ai aussi pu déterminer la part de free-riders inclus dans le programme.

Initialement, je m'attendais à une migration vers les rénovations à haute efficacité. Cette anticipation fût observée puisqu'on s'attend à une augmentation de 11 617 systèmes à haute efficacité. La cause la plus probable de ce résultat est que la structure de coût et de subvention fait en sorte que ces systèmes deviennent une belle opportunité. De plus, cette migration s'est faite au détriment des ménages qui n'effectuaient pas de changement de système de chauffage. Donc, initialement, ces ménages décidaient de ne pas changer leur système, donc non seulement la subvention les a incités à changer, mais elle les a incités à choisir un système à haute efficacité. Donc, le programme ne fait non seulement augmenter la quantité de rénovations, mais aussi la qualité.

Limites et considérations futures

Évaluations de type D qui n'ont pas fait d'évaluations E

Une des plus grosses lacunes de ce projet est l'absence de ménages qui n'ont fait aucunes rénovations. L'échantillon obtenu de la part des responsables du programme n'incluait pas ces ménages. S'ils avaient été inclus, en plus de l'impact de la subvention sur les ménages effectuant une rénovation, j'aurais pu déterminer quel est l'impact sur ceux qui ont décidé de ne pas réaliser de rénovation.

Aire habitable et année de construction

Initialement, ces variables étaient prévues d'être incluses dans le modèle. Cependant, une première estimation des paramètres a permis de remarquer la colinéarité avec d'autres variables. Ceci ne constitue pas une surprise en soi puisque la quantité d'énergie consommée par le système de chauffage et perdue à travers le grenier et le sous-sol est directement liée à la superficie du ménage. Évidemment, plus la superficie est grande, plus il faut consommer de carburant afin de chauffer cette superficie. L'année de construction aussi n'est pas une surprise en soi, puisque plus les maisons sont vieilles, moins d'isolation elles possèdent et donc plus d'énergie elles perdent à travers le sous-sol et le grenier et par conséquent plus de chauffage est nécessaire. Sur une note personnelle, possédant moi-même une maison centenaire, j'ai observé qu'elle ne possédait initialement aucune isolation dans les murs extérieurs et au sous-sol. Selon une règle générale utilisée, la méthode d'estimation pour déterminer la valeur R de l'isolation des murs est de un R par pouce de la planche. Ma maison possédant deux planches de pins de 1 pouce et demie, je possède donc une isolation

plus, j'ai supposé que le sous-sol n'est pas un sous-sol de type vide sanitaire. La base de données de l'OEE procure cette information, mais encore une fois, l'obtention des coûts est très difficile à trouver. Les prix ont aussi une grande incidence sur mes résultats. Je soupçonne que si j'avais eu des prix plus réalistes, j'aurais obtenu des résultats qui reflète davantage la littérature.

Complexité de l'isolation du grenier

De manière similaire, l'isolation du grenier dépend du type d'isolant choisi et du type de grenier. La laine isolante a été choisie pour les mêmes raisons et un type de grenier cathédral a été supposé. La base de données de l'OEE possède aussi ces variables, il ne reste qu'à effectuer la recherche de coût.

Variable continue vs. variable discrète

Le but de ce projet est de déterminer l'effet des subventions sur la quantité et la qualité des rénovations. À la limite, la qualité des rénovations est une variable continue et non discrète. Dans ce projet la qualité a été catégoriser selon la table de subvention du programme de subvention de l'OEE, mais on pourrait les décomposer autrement puisque la précision fourni des variables d'efficacité de l'isolation (la valeur R) et du système de chauffage (AFUE) est une variable continue.

- Exterior wall insulation (coût pour ouvrir les murs)
- Exposed floor insulation (definition de plancher)
- Water conservation (coût)
- Type de chauffage alternatif ex: geothermal (coût)

Données provinciales

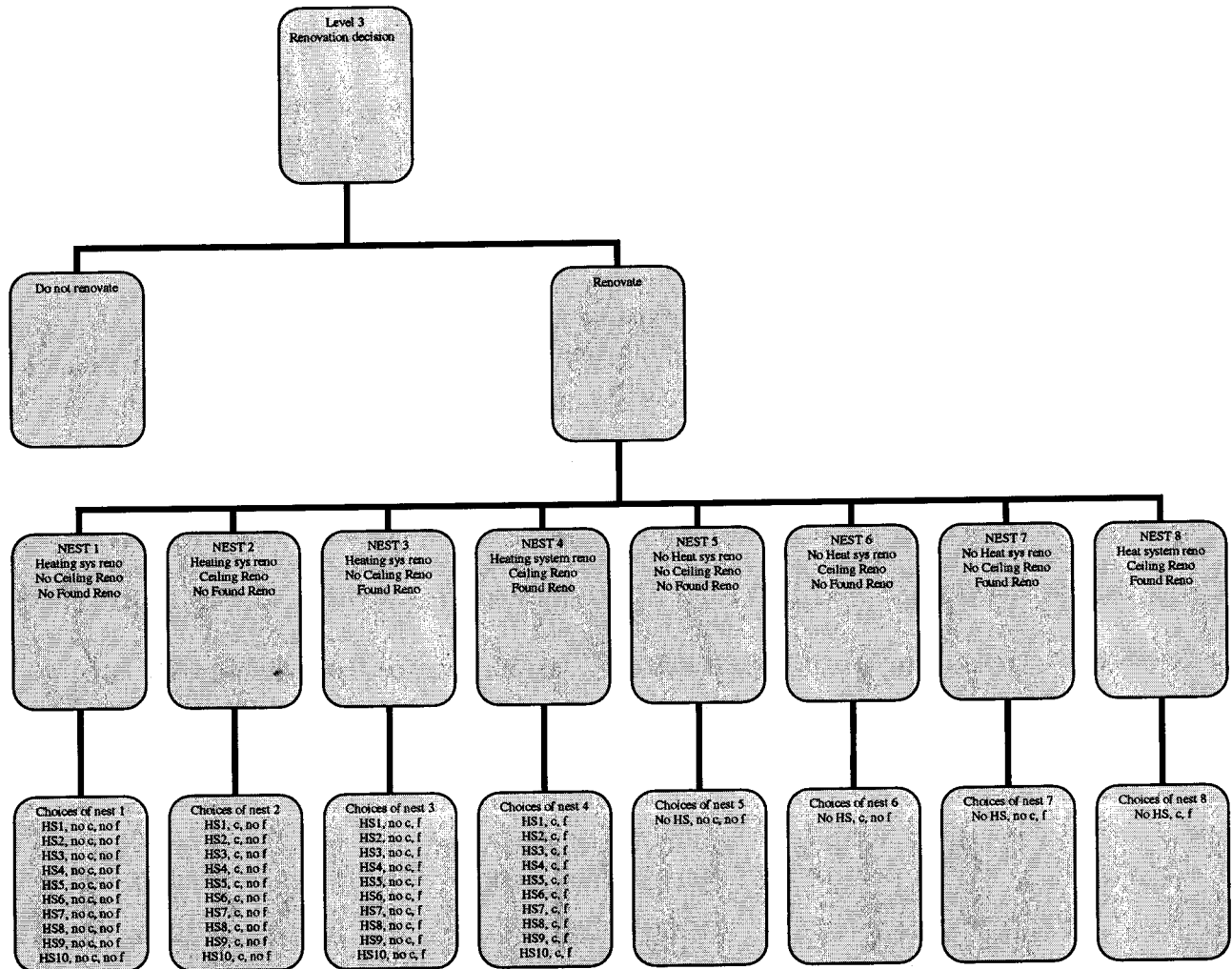
Pour plusieurs provinces, la subvention fédérale est bonifiée. Pour ce projet, j'ai tenu compte que de l'Ontario et du Québec. Les tables de subvention provinciale sont accessibles via les sites internet des provinces, il ne suffit qu'à les coder dans le programme. Ce qui est simple en soit, mais requiert beaucoup de temps. De plus, il est évident que les coûts de rénovations varient par province, et même par ville. Donc, il faudrait inclure une variation géographique pour les coûts de rénovations.

Données longitudinales

Le programme Écoénergie est en place depuis 2007³⁰ et plus de 350 000 ménages ont été évalués. Cependant, j'ai seulement eu accès à la table des subventions de la période commençant le 30 novembre 2009. Les tables des périodes précédentes n'ont pas été mises à ma disposition. Le type de variables collectés étant constant à travers le temps, il ne suffirait de savoir comment les montant ont été attribué afin d'avoir les données sur l'ensemble de l'existence de programme.

³⁰ et sous le nom ÉnerGuide pour les maisons avant cette date

renover ou non le type de rénovation et au troisième, à quelle efficacité. Graphiquement, le modèle ressemblerait à:



ANNEXE

Table 14
Statistiques principales de model fit et goodness of fit

Statistique	Valeur
Dependent Variable	decision
Number of Observations	14159
Number of Cases	679632
Log Likelihood	-11134
Maximum Absolute Gradient	3016
Number of Iterations	203
Optimization Method	Dual Quasi-Newton
AIC	22461
Schwarz Criterion	23187
Likelihood Ratio (R)	87356
Upper Bound of R (U)	109625
Aldrich-Nelson	0.8605
Cragg-Uhler 1	0.9979
Cragg-Uhler 2	0.9983
Estrella	1
Adjusted Estrella	1
McFadden's LRI	0.7969
Veall-Zimmermann	0.9717

sof_nc_nf	0	32
Total	14159	14159

sgf_c_f	0	0	0	1	9
sgf_c_nf	4	19,546	3,562	23,108	215,445
sgf_nc_f	0	0	0	1	10
sgf_nc_nf	7	22,210	1,372	23,582	323,775
sgfe_c_f	0	5	6	11	139
sgfe_c_nf	0	1	0	1	4
sgfe_nc_f	0	1	1	1	19
sgfe_nc_nf	3	6,353	3,885	10,238	63,788
sof_c_f	1	3,526	2,328	5,854	67,484
sof_c_nf	5	18,182	7,904	26,086	130,202
sof_nc_f	1	3,174	1,977	5,150	71,563
sof_nc_nf	32	94,540	38,554	133,094	768,403
Total	14159	31,660,835	22,895,190	54,556,025	474,956,282

sof_nc_f	0	22	304
sof_nc_nf	0	783	4,742
Total	14,159	13,437,448	109,341,065

Table 19
Impact du revenu sur les différentes combinaisons

Combinaison	Estimé	Ecart-type	t-value	P-value	Delta
hgb_c_f	-2.29E-06	1.42E-06	-1.61	0.1075	1.70E-08
hgb_c_nf	-4.87E-06	5.82E-07	-8.36	<.0001	5.82E-08
hgb_nc_f	9.69E-06	2.90E-06	3.34	0.0008	4.41E-08
hgb_nc_nf	-1.1E-05	2.26E-05	-0.48	0.6317	3.68E-07
hgf_c_f	-1.75E-07	0.09	0	1	1.05E-06
hgf_c_nf	-3.7E-05	9.69E-06	-3.83	0.0001	6.14E-07
hgf_nc_f	-2.63E-06	0.0213	0	0.9999	1.02E-06
hgf_nc_nf	1.52E-05	7.55E-06	2.02	0.0435	3.71E-05
hob_c_f	-5.3E-05	1.14E-05	-4.7	<.0001	0.00E+00
hob_c_nf	-2.4E-05	1.36E-05	-1.77	0.076	0.00E+00
hob_nc_f	6.13E-06	1.50E-06	4.09	<.0001	0.00E+00
hob_nc_nf	-4.3E-05	6.85E-06	-6.33	<.0001	-1.83E-10
hof_c_f	-0.00004	4.63E-06	-8.71	<.0001	0.00E+00
hof_c_nf	-6.4E-05	0.00133	-0.05	0.9617	0.00E+00
hof_nc_f	-8.7E-05	0.006822	-0.01	0.9899	0.00E+00
hof_nc_nf	-9.83E-06	0.003119	0	0.9975	4.59E-09
lgb_c_f	-0.00023	0.0111	-0.02	0.9836	0.00E+00
lgb_c_nf	-5.3E-05	0.8654	0	1	0.00E+00
lgb_nc_f	-0.00012	0.004585	-0.03	0.9787	0.00E+00
lgb_nc_nf	-9.1E-05	0.003443	-0.03	0.9789	0.00E+00
lgf_c_f	-9.1E-05	0.002178	-0.04	0.9665	-6.87E-09
lgf_c_nf	-3.9E-05	0.000013	-3.03	0.0025	0.00E+00
lgf_nc_f	-3.1E-05	4.55E-06	-6.85	<.0001	0.00E+00
lgf_nc_nf	-2.3E-05	5.12E-06	-4.55	<.0001	1.37E-08
lob_c_f	-9.07E-06	7.64E-07	-11.86	<.0001	0.00E+00
lob_c_nf	-4.2E-05	0.000564	-0.07	0.9406	0.00E+00
lob_nc_f	-7.8E-05	0.003343	-0.02	0.9814	0.00E+00
lob_nc_nf	4.76E-05	0.001157	0.04	0.9672	0.00E+00
lof_c_f	-0.0001	0.00227	-0.05	0.9637	-4.07E-09
lof_c_nf	-3.66E-06	0.208	0	1	5.47E-09
lof_nc_f	-5.7E-05	3.14E-05	-1.81	0.0705	0.00E+00
lof_nc_nf	-1.2E-05	1.07E-05	-1.13	0.2583	2.14E-09
nhs_c_f	-7.6E-05	0.002371	-0.03	0.9746	-1.19E-06
nhs_c_nf	-1.60E-06	5.60E-06	-0.29	0.7755	2.66E-06
nhs_nc_f	-1.08E-06	6.40E-07	-1.69	0.091	6.94E-07
sgf_c_f	-3.1E-05	6.57E-06	-4.71	<.0001	0.00E+00
sgf_c_nf	-3.9E-05	4.62E-06	-8.38	<.0001	9.47E-10
sgf_nc_f	-6.7E-05	0.00515	-0.01	0.9897	0.00E+00
sgf_nc_nf	-0.00011	0.002497	-0.04	0.966	-3.34E-08
sgfe_c_f	-1.2E-05	0.004634	0	0.9979	0.00E+00
sgfe_c_nf	-6.3E-05	2.25E-05	-2.81	0.0049	0.00E+00
sgfe_nc_f	-1.6E-05	0.019	0	0.9993	0.00E+00
sgfe_nc_nf	-4.6E-05	1.62E-05	-2.81	0.005	-7.73E-10
sof_c_f	-8.3E-05	0.003671	-0.02	0.982	-2.87E-09
sof_c_nf	-9.3E-05	0.000938	-0.1	0.921	-1.79E-08
sof_nc_f	-4.1E-05	1.71E-05	-2.41	0.0161	9.55E-11
sof_nc_nf	-3.1E-05	4.51E-06	-6.93	<.0001	2.57E-08

Table 21
Variation de la probabilité d'occurrence des combinaisons en fonction de la caractéristique

Combinaison	Probabilité	Thêta du coût	Thêta de l'économie d'énergie
hgb_c_f	6	1.93E-07	-2.20E-06
hgb_c_nf	22	7.06E-07	-8.00E-06
hgb_nc_f	12	3.85E-07	-4.40E-06
hgb_nc_nf	166	5.27E-06	-6.00E-05
hgf_c_f	351	1.10E-05	-0.00012
hgf_c_nf	1625	4.62E-05	-0.00052
hgf_nc_f	364	1.14E-05	-0.00013
hgf_nc_nf	9122	0.000104282	-0.00118
hob_c_f	0	0	0
hob_c_nf	0	0	0
hob_nc_f	0	0	0
hob_nc_nf	4	1.29E-07	-1.50E-06
hof_c_f	0	0	0
hof_c_nf	0	0	0
hof_nc_f	0	0	0
hof_nc_nf	2	6.43E-08	-7.30E-07
lgb_c_f	0	0	0
lgb_c_nf	0	0	0
lgb_nc_f	0	0	0
lgb_nc_nf	0	0	0
lgf_c_f	2	6.43E-08	-7.30E-07
lgf_c_nf	0	0	0
lgf_nc_f	0	0	0
lgf_nc_nf	10	3.21E-07	-3.60E-06
lob_c_f	0	0	0
lob_c_nf	0	0	0
lob_nc_f	0	0	0
lob_nc_nf	0	0	0
lof_c_f	1	3.21E-08	-3.60E-07
lof_c_nf	2	6.43E-08	-7.30E-07
lof_nc_f	0	0	0
lof_nc_nf	1	3.21E-08	-3.60E-07
nhs_c_f	499	1.55E-05	-0.00018
nhs_c_nf	923	2.77E-05	-0.00031
nhs_nc_f	238	7.52E-06	-8.50E-05
nhs_nc_nf	756	2.30E-05	-0.00026
sgf_c_f	0	0	0
sgf_c_nf	4	1.29E-07	-1.50E-06
sgf_nc_f	0	0	0
sgf_nc_nf	7	2.25E-07	-2.50E-06
sgfe_c_f	0	0	0
sgfe_c_nf	0	0	0
sgfe_nc_f	0	0	0