

HEC MONTRÉAL

Propension à accepter les chauffe-eau interruptibles : une évaluation contingente en
gestion de la demande d'électricité

par

Olivier Godard

Sciences de la gestion

(Économie appliquée)

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de maîtrise ès sciences

Avril 2017

© Olivier Godard, 2017

AVIS DE CONFORMITÉ

HEC MONTRÉAL

Comité d'éthique de la recherche

Le 18 août 2016

À l'attention de :
Olivier Godard, étudiant M. Sc.
HEC Montréal

Objet : Approbation éthique de votre projet de recherche

Projet : 2017-2431

Titre du projet de recherche : Chauffe-eau à charge interruptible

Votre projet de recherche a fait l'objet d'une évaluation en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains par le CER de HEC Montréal.

Un certificat d'approbation éthique qui atteste de la conformité de votre projet de recherche à la *Politique relative à l'éthique de la recherche avec des êtres humains* de HEC Montréal est émis en date du 18 août 2016. Prenez note que ce certificat est **valide jusqu'au 01 août 2017**.

Vous devrez obtenir le renouvellement de votre approbation éthique avant l'expiration de ce certificat à l'aide du formulaire *F7 - Renouvellement annuel*. Un rappel automatique vous sera envoyé par courriel quelques semaines avant l'échéance de votre certificat.

Si des modifications sont apportées à votre projet avant l'échéance du certificat, vous devrez remplir le formulaire *F8 - Modification de projet* et obtenir l'approbation du CER avant de mettre en oeuvre ces modifications. Si votre projet est terminé avant l'échéance du certificat, vous devrez remplir le formulaire *F9 - Fin de projet ou F9a - Fin de projet étudiant*, selon le cas.

Notez qu'en vertu de la *Politique relative à l'éthique de la recherche avec des êtres humains* de HEC Montréal, il est de la responsabilité des chercheurs d'assurer que leurs projets de recherche conservent une approbation éthique pour toute la durée des travaux de recherche et d'informer le CER de la fin de ceux-ci. De plus, toutes modifications significatives du projet doivent être transmises au CER avant leurs applications.

Vous pouvez dès maintenant procéder à la collecte de données pour laquelle vous avez obtenu ce certificat.

Nous vous souhaitons bon succès dans la réalisation de votre recherche.

Le CER de HEC Montréal

HEC MONTRÉAL

Comité d'éthique de la recherche

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

La présente atteste que le projet de recherche décrit ci-dessous a fait l'objet d'une évaluation en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains et qu'il satisfait aux exigences de notre politique en cette matière.

Projet # : 2017-2431

Titre du projet de recherche : Chauffe-eau à charge interruptible

Chercheur principal :
Olivier Godard, étudiant M. Sc., HEC Montréal

Directeur/codirecteurs :
Justin Leroux; Pierre-Olivier Pineau
Professeurs - HEC Montréal

Date d'approbation du projet : 18 août 2016

Date d'entrée en vigueur du certificat : 18 août 2016

Date d'échéance du certificat : 01 août 2017



Maurice Lemelin
Président du CER de HEC Montréal

SOMMAIRE

Ce mémoire étudie un projet de gestion de la demande d'électricité en périodes de pointe au Québec. Le projet d'Hydro-Québec (*Charges interruptibles résidentielles – Chauffe-eau*) consiste en un contrôle de la séquence d'activation des éléments chauffants de chauffe-eau résidentiels. Un contrôle précis du chauffe-eau procure au fournisseur d'électricité des gains en matière de puissance électrique, le tout, sans affecter les habitudes de consommation d'eau chaude ou la qualité de l'eau. Pour que l'implantation de cette intervention en efficacité énergétique soit réussie, il est crucial de comprendre les préférences des participants potentiels. Ce mémoire traite ainsi des préférences individuelles, plutôt que les aspects techniques du contrôle des chauffe-eau. Formellement, la question de recherche porte, d'une part, sur la propension à accepter le contrôle de la séquence d'activation de son chauffe-eau, d'autre part, sur la valeur économique accordée à ce contrôle.

La méthode d'évaluation contingente par questionnaire a été choisie afin d'étudier les motifs de participation et le consentement à recevoir moyen pour motiver la participation au projet. Fondés sur un échantillon de 269 individus, les résultats suivants ont été obtenus : il est estimé que 52 % de la population de Montréal et de ses environs se porteraient volontaires pour le projet. En offrant une compensation financière annuelle de 100 \$ ou moins, le fournisseur d'électricité pourrait atteindre un taux de pénétration de 76 %. Les résultats prédisent aussi que 7 % des habitants de Montréal et de ses alentours ne seraient pas intéressés au projet, malgré la proposition d'un incitatif financier.

Du format du questionnaire à la spécification du modèle *logit* utilisé, le mémoire procure un cadre d'analyse réutilisable d'une évaluation contingente appliquée à un projet de gestion de la demande en puissance d'électricité.

TABLE DES MATIÈRES

Avis de conformité.....	ii
Sommaire	iv
Liste des tableaux.....	vii
Liste des figures	viii
Liste des équations.....	viii
Liste des compléments.....	viii
Remerciements.....	ix
1. Introduction.....	1
1.1 Contexte	1
1.2 Motivations.....	3
1.3 Description du projet.....	5
2. Revue de littérature	8
2.1 Méthode d'évaluation contingente	8
2.1.1 Applications d'évaluations contingentes	9
2.1.2 Critiques de l'évaluation contingente	13
2.1.3 Réponses aux critiques	15
2.1.4 Conclusion de la discussion sur l'évaluation contingente	17
2.2 Consentements à recevoir et à payer	18
3. Méthodologie	20
3.1 Collecte de données.....	20
3.1.1 Population cible	20
3.1.2 Méthodes de collecte de données	21
3.1.3 Méthodes d'échantillonnage.....	22
3.1.4 Échantillon visé	23
3.1.5 Résultats de la collecte de données.....	24
3.1.6 Représentativité de l'échantillon	25
3.2 Questionnaire	30
3.2.1 Précisions sur l'élaboration du questionnaire.....	30
3.2.2 Format des questions — Consentement à recevoir	33
3.3 Hypothèses de travail	34
3.3.1 Habitudes de consommation d'eau chaude	34
3.3.2 Qualité de l'eau.....	36

3.3.3 Coûts privés	37
3.3.4 Bénéfices privés.....	38
3.3.5 Bénéfices sociaux	39
4. Modèle	40
4.1 Modèles considérés	40
4.2 Modèle sélectionné — <i>logit</i> multinomial.....	42
4.2.1 Hypothèses.....	42
4.2.2 Variables explicatives.....	44
4.2.3 Choix de la spécification du modèle.....	46
4.3.4 Tests de corrélation.....	49
4.3.5 Tests de significativité	51
4.3.6 Interprétation des résultats.....	51
5. Analyse des résultats.....	53
5.1 Choix de participation	53
5.2 Consentement à recevoir	57
5.3 Résultats	60
5.4.1 Importance des options d’implantation	64
5.4.2 Sensibilité à l’intrusion.....	66
5.4.3 Sensibilité aux bénéfices	69
5.4.4 Caractéristiques sociodémographiques.....	72
5.4.5 Critères techniques	75
5.4.6 Biais	76
6. Conclusions.....	78
6.1 Retour sur les résultats	78
6.2 Contributions.....	81
Annexe A Interventions en gestion de la puissance.....	82
Annexe B Méthodologie	84
Annexe C Hypothèses de travail.....	102
Annexe E Résultats.....	104
Bibliographie.....	106

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Représentativité du genre.....	26
Tableau 2 Représentativité de la langue maternelle	26
Tableau 3 Représentativité du mode d'occupation.....	26
Tableau 4 Représentativité de la taille du ménage.....	27
Tableau 5 Représentativité de l'âge.....	27
Tableau 6 Représentativité de la scolarité	28
Tableau 7 Représentativité du revenu avant impôts du ménage.....	29
Tableau 8 Variables explicatives	44
Tableau 9 Tests de significativité sur le modèle <i>complet</i>	51
Tableau 10 Tests de significativité sur le modèle <i>PAP</i>	51
Tableau 11 Sensibilité à l'incitatif financier – Projet pilote versus mémoire	58
Tableau 12 Résultats du modèle <i>complet</i>	62
Tableau 13 Résultats du modèle <i>PAP</i>	63
Tableau 14 Principaux commentaires des sondés.....	64
Tableau 15 Options d'implantation	64
Tableau 16 Sensibilité à l'intrusion	66
Tableau 17 Sensibilité aux bénéfiques.....	70
Tableau 18 Caractéristiques sociodémographiques	72
Tableau 19 Critères techniques.....	75
Tableau 20 Variables liées aux biais.....	76
Tableau 21 Programme <i>Charges interruptibles résidentielles – Chauffe-eau</i> (HQD)	82
Tableau 22 Interventions anticipées (HQD)	82
Tableau 23 Impacts énergétiques des programmes de GDP (HQD)	83
Tableau 24 Détails sur les impacts énergétiques des projets de GDP (HQD).....	83
Tableau 25 Genre par sous-groupe	87
Tableau 26 Langue maternelle par sous-groupe	87
Tableau 27 Mode d'occupation par sous-groupe.....	88
Tableau 28 Taille du ménage par sous-groupe	88
Tableau 29 Tranche d'âge par sous-groupe	89
Tableau 30 Niveau de scolarité par sous-groupe	89
Tableau 31 Revenu avant impôts du ménage par sous-groupe.....	90
Tableau 32 Résultats du modèle <i>complet</i>	104
Tableau 33 Résultats du modèle <i>PAP</i>	105

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Réduction potentielle de la puissance électrique.....	35
Figure 2 Classement détaillé des sondés selon leurs réponses au questionnaire	56
Figure 3 Distribution cumulée des consentements à recevoir	58
Figure 4 Cotes d'importance (échelle de 1 à 7)	61
Figure 5 Réponses agrégées des questions 2.1, 2.2 et 2.3	65
Figure 6 Réponses agrégées des questions 2.7 et 3.1	67
Figure 7 Réponses agrégées des questions 4.1, 4.2 et 4.3	70
Figure 8 Carte de la zone de collecte de données à Rosemont — La Petite-Patrie	86
Figure 9 Carte de la zone de collecte de données à Laval-des-Rapides	86
Figure 10 Énergie totale consommée par le chauffe-eau avec interruptions.....	102

LISTE DES ÉQUATIONS

Équation 1 Formulation par variable latente d'un modèle <i>logit</i> multinomial.....	42
Équation 2 Fonction d'utilité.....	43
Équation 3 Distribution des termes d'erreurs	43
Équation 4 Modèle <i>complet</i> – <i>version 1</i>	47
Équation 5 Modèle <i>PAP</i> – <i>version 1</i>	47
Équation 6 Modèle <i>complet</i> – <i>version 2</i>	48
Équation 7 Modèle <i>PAP</i> – <i>version 2</i>	48
Équation 8 Modèle <i>complet</i>	49
Équation 9 Modèle <i>PAP</i>	49
Équation 10 Forme formelle des modèles <i>complet</i> et <i>PAP</i>	49
Équation 11 Ratio de risque relatif	52
Équation 12 Effet partiel moyen.....	52

LISTE DES COMPLÉMENTS

Complément 1 Précisions sur les collectes de données	84
Complément 2 Détails sur l'entrevue en personne	85
Complément 3 Représentativité de l'échantillon par sous-groupe	87
Complément 4 Questionnaire	91
Complément 5 Bénéfices du projet pilote de chauffe-eau interruptibles.....	103

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier les professeurs Justin Leroux et Pierre-Olivier Pineau, qui ont codirigé la rédaction de ce mémoire. Leurs judicieuses recommandations ont permis l'achèvement de cette étude. La contribution du professeur Daniel Parent, notamment sur le choix du modèle économétrique, est également à souligner.

Le soutien inconditionnel de Geneviève Guertin et Michel Godard, parents de l'auteur, est sans contredit le pilier psychologique d'une telle réalisation. Un sincère merci à Hélène Groulx pour le support précieux et la correction du texte.

Enfin, « chapeau levé » aux centaines de répondants du questionnaire, sans qui l'enquête n'aurait pas pu être accomplie.

1. INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

Si le Québec a des surplus d'énergie électrique, les « pointes de consommation » présentent des défis. Il est plus coûteux d'assurer le service durant ces brèves périodes puisqu'un grand nombre de Québécois consomment de l'électricité simultanément. Pour mieux gérer la demande globale d'électricité durant ces périodes, quelques programmes spécifiques sont envisagés. Ces programmes sont connus sous le nom *d'interventions en gestion de la demande en puissance*.

Hydro-Québec, société parapublique qui produit et distribue la grande majorité de l'électricité québécoise, investit de plus en plus dans la gestion de la consommation d'électricité. Hydro-Québec Distribution, division d'Hydro-Québec, a pour rôle d'acheminer l'électricité des points de production aux consommateurs finaux (particuliers, commerces, institutions, etc.). Dans le budget total d'Hydro-Québec Distribution en efficacité énergétique, la part des programmes de gestion de la demande en puissance était de 0,3 % en 2012 et sera de 25 % en 2017 (Hydro-Québec, 2016)¹. En 2017, 29 millions de dollars (M\$) seront alloués à ces projets. Ces derniers devraient permettre de dégager une marge en puissance électrique d'environ 166 mégawatts (MW) sur une capacité installée totale de 36 100 MW². Bien que le gain en puissance semble mince par rapport à la capacité installée, les économies de coûts liées à celui-ci sont considérables. Le gain en puissance potentiel moyen net par chauffe-eau est de 0,7 kW, ce qui représente un coût annuel évité de 89 \$ par appareil pour Hydro-Québec (Dufresne, 2016).

Parmi les différentes interventions en gestion de la demande en puissance se retrouve le projet d'intérêt de ce mémoire : le programme *Charges interruptibles résidentielles – Chauffe-eau*, consistant en un contrôle par Hydro-Québec de la séquence d'activation des éléments chauffants de chauffe-eau résidentiels. L'entreprise prévoyait, au printemps 2017, installer un dispositif de contrôle des éléments chauffants de chauffe-eau

¹ Projection sur l'investissement en GDP en 2017 tirées du document Hydro-Québec (2016).

² Puissance installée des centrales hydroélectriques au 31 décembre 2014.

(charge interruptible) auprès de 92 100 ménages québécois, impliquant un investissement de 26 M\$ (Hydro-Québec, 2016b). Représentant 23 % de la part du budget annuel anticipé de 2017 en efficacité énergétique, ce serait le programme le plus important financièrement pour Hydro-Québec Distribution. L'annexe A présente des informations supplémentaires sur les interventions de la société en efficacité énergétique, précisément, sur les programmes de contrôle direct de la charge de chauffe-eau.

Il importe de mentionner qu'une discussion publique entre la Régie de l'énergie et Hydro-Québec Distribution évoquait la suspension indéterminée du programme *Charges interruptibles résidentielles – Chauffe-eau* (Régie de l'énergie, 2017). Le projet semble être reporté en raison d'un avis défavorable de l'Institut national de la santé publique du Québec. L'Institut suspecte des dangers en matière de santé publique, bien que des tests, menés par l'Institut de recherche d'Hydro-Québec, concluent que les températures à l'intérieur du réservoir du chauffe-eau interrompu respectent les normes émises par l'Organisation mondiale de la santé en matière de stockage et de consommation d'eau chaude. Une courte discussion sur le sujet sera effectuée dans ce mémoire.

Une panoplie de projets semblables est également active à travers le monde. Selon la base de données de la *Federal Energy Regulatory Commission* (2012), il y aurait environ 2,65 millions d'Américains qui participeraient à un projet de contrôle direct de la charge de leur chauffe-eau³. De surcroît, le projet est spécialement prometteur pour le Québec qui dénombre une forte majorité de chauffe-eau électriques (94 % selon Dufresne 2016), en plus de sa forte demande d'électricité en hiver causant des pics de consommation.

³ Inclus les programmes combinant le contrôle du chauffe-eau et d'un autre appareil (ex. : climatiseur). Ce sont ainsi 129 projets qui ont permis de réduire la demande en puissance électrique résidentielle de 1 520 MW en 2011.

1.2 MOTIVATIONS

Il est à noter que le projet de *Charges interruptibles résidentielles – Chauffe-eau* a été remis à deux reprises. Ce dernier était initialement prévu pour l'hiver 2014-2015. Hydro-Québec affirme que « le contexte d'élaboration du nouveau plan stratégique amène le Distributeur [Hydro-Québec Distribution] à se repositionner sur la meilleure stratégie à mettre en place afin d'atteindre les objectifs qu'il s'est fixés dans ce marché. » (Hydro-Québec, 2015, p.73) Les reports du projet témoignent de la complexité de son implantation. D'une part, plusieurs éléments techniques sont à considérer, tels que l'effet de la désactivation temporaire du chauffe-eau sur la consommation d'eau chaude du ménage ou sur la qualité de l'eau à l'intérieur du réservoir. D'autre part, la réaction et les préférences de la population québécoise quant à ce type de projet n'ont pas encore été évaluées.

Ce mémoire a donc pour objectif de clarifier les intentions des participants potentiels, et ce, en utilisant l'évaluation contingente par questionnaire. Brièvement, cette méthode consiste à interroger directement une population ciblée quant à leurs préférences sur ce projet de contrôle à distance de leur chauffe-eau. Une étude approfondie sur cette méthode est proposée dans la section 2.1 Méthode d'évaluation contingente.

De manière générale, les résultats du mémoire offrent des pistes de solutions et de réflexions pour la confection du plan de déploiement de cette technologie. Étant le premier projet national de gestion de la demande de puissance résidentielle au Québec, la couverture médiatique pourrait être importante. De plus, une technologie de contrôle mal comprise par le public pourrait être mal reçue. Cette étude indépendante (sans aucune participation d'Hydro-Québec) présente ainsi un aperçu des attentes du public. Hydro-Québec et d'autres décideurs publics en politique énergétique pourront s'inspirer des résultats. Aussi, des chercheurs en sciences économiques pourront reprendre la méthodologie et le modèle utilisés pour des recherches connexes.

L'auteur du mémoire s'est intéressé précisément au projet pilote de contrôle de la charge effectué auprès de 400 employés d'Hydro-Québec lors de l'hiver 2014-2015. Le test a été très bien reçu par les participants, qui s'enrôleraient dans à un programme national

similaire en grande majorité (93 %) selon un sondage de satisfaction (Hydro-Québec, 2015 b)⁴. Bien qu'aucun participant n'ait ressenti d'inconfort lié aux interruptions de leur chauffe-eau, ils ont manifesté un intérêt prononcé pour les options de contrôles. Les options de contrôle prennent la forme, par exemple, d'une option d'être averti de chaque période de délestage. Émergeant du désir de contrôle, le mémoire se penchera sur les questions de recherche suivantes : **Quelle est la propension à accepter le contrôle de la séquence d'activation de son chauffe-eau et quelle est la valeur économique qu'un individu accorde à ce contrôle?** Les résultats de l'évaluation contingente permettront de chiffrer cette valeur, interprétée comme un consentement à recevoir. Un modèle économétrique (*logit* multinomial), construit à partir des résultats de l'enquête par questionnaire, éclairera les préférences de la population montréalaise quant aux choix de participer au projet (propension à accepter).

⁴ Voir l'Annexe A du document Hydro-Québec (2015 b).

1.3 DESCRIPTION DU PROJET

Le projet consiste en l'installation d'un appareil de contrôle à distance de la séquence d'activation des éléments chauffants de chauffe-eau résidentiels. Les interruptions de la charge seraient programmées par Hydro-Québec. L'objectif est d'éviter de mettre en fonction les appareils lors des périodes de pointe. Le volume considérable d'eau chaude dans le réservoir sert à décaler l'usage d'électricité hors des heures critiques.

Contrôle direct de la charge

Afin de comprendre la technologie de contrôle de la charge interruptible (interruptions de chauffe-eau), il est pertinent d'éclairer le fonctionnement d'un chauffe-eau électrique communément utilisé au Québec.

La capacité du réservoir est de 180 ou 270 litres chez, respectivement, 40 % et 60 % des ménages québécois (Wong et al., 2013). Lors de l'utilisation d'eau chaude, de l'eau froide entre par le bas ou est injectée du haut vers le bas par un tuyau interne. La température de l'eau entrante varie entre 1,5 et 23 °C selon la saison (Dufresne, 2016). La température de stockage est de 60 °C. L'eau sortante est donc d'au plus 60 °C.

Deux éléments chauffent l'eau à l'intérieur (puissance de 3 à 4,5 kW). Chaque élément est muni d'un thermomètre et seulement l'un des deux éléments peut être actif. L'élément du haut est maître (prioritaire). Il est réglé à 60 °C et il s'active lorsque la température mesurée est inférieure à 50 °C. L'élément du bas est dominé. Il est réglé à 60 °C et il s'active lorsque la température est inférieure à 55 °C. (Allard et al., 2011)

Ces caractéristiques de chauffe-eau, réglées par le manufacturier, ne sont pas modifiées pour le projet de « télécontrôle ». Le modèle TRNSYS Type 60c a été retenu par Moreau (2011) pour construire la fonction de contrôle des éléments chauffants et la stratégie de réactivation du chauffe-eau. Ce modèle simule la température à l'intérieur du réservoir pour différentes stratifications. En effet, le réservoir est divisé en 10 nœuds qui contiennent une quantité fixe d'eau à une hauteur connue. **Tout en conservant la température de l'eau sortante au-dessus de 50 °C, il est possible de faire des gains énergétiques en ajustant la température de chaque strate avec précision.** En d'autres mots, la température de l'eau interne n'a pas besoin d'être au-dessus de 50 °C pour que la

température de la dernière strate — l'eau sortante — soit supérieure à ce seuil. Enfin, l'installation d'une commande de désactivation des éléments chauffants, munie d'un lecteur de température, est requise afin d'utiliser cette stratégie de contrôle.

Les périodes de contrôle de la charge surviendraient lorsque la demande d'électricité est très forte, essentiellement, en hiver. La durée d'interruption est d'au plus trois heures. La réactivation s'effectue à l'intérieur d'une heure. Le temps d'interruption maximal est donc de quatre heures (Hydro-Québec, 2016).

Options technologiques

Trois options technologiques, présentes lors du projet pilote d'Hydro-Québec, sont considérées. D'abord, la possibilité d'être averti des interruptions; le participant peut recevoir un message texte ou un courriel lui informant du délestage quelques jours avant l'événement. Ensuite, à la réception de ce courriel, l'individu a l'option de refuser l'interruption. Enfin, le participant peut bénéficier d'une option de quitter le programme en tout temps sans frais. Tester l'importance de ces trois variables est un indicateur de l'importance accordée au désir de contrôle sur les activités affectant un électroménager.

Compensation financière

Un objet crucial du projet est le montant versé en compensation financière pour la participation au programme. Du point de vue du fournisseur d'électricité, cette compensation est motivée par « l'achat de puissance » (Hydro-Québec, 2016). Le ménage est donc rémunéré, car sa participation au projet permet de réduire la puissance électrique à offrir aux heures de pointe. Du point de vue de l'utilisateur, il est pertinent d'analyser la valorisation au contrôle externe et la perception d'une intrusion dans la vie privée par cette technologie. Le consentement à recevoir, expliqué dans la section suivante, est l'outil d'estimation de cette valeur.

Suivant cette introduction, le chapitre 2. Revue de littérature survole les publications scientifiques traitant de l'évaluation contingente. Une attention particulière est prêtée aux biais pouvant affecter cette méthode d'évaluation et aux techniques visant à les contrer. La partie 3. Méthodologie informe des procédures suivies lors de la collecte de données et de l'élaboration du questionnaire, en plus de commenter la représentativité de l'échantillon. Le chapitre 4. Modèle justifie le choix d'utiliser un *logit* multinomial. Les variables d'intérêts y sont détaillées. La partie 5. Analyse des résultats exhibe, d'une part, les réponses provenant directement du questionnaire concernant les choix de participation et le consentement à recevoir, d'autre part, les résultats des régressions provenant du *logit* en fonction des catégories de variables explicatives. Le tout est clos par un retour sur les résultats et les contributions dans le chapitre 6. Conclusions.

2. REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 MÉTHODE D'ÉVALUATION CONTINGENTE

L'évaluation contingente est utilisée pour estimer la valeur économique d'un bien (service) lorsqu'il manque d'informations sur les marchés pour établir sa valeur. Cette méthode cherche l'expression directe de la valeur accordée à un bien non marchand à travers un questionnaire. La structure est standard : un échantillon, représentatif de la population d'intérêt, est questionné sur son consentement à recevoir ou à payer pour un projet hypothétique (Mitchell et Carson, 1989). Par rapport aux autres méthodes d'évaluation de biens intangibles, celle-ci se distingue sur deux plans : le contexte hypothétique et l'estimation de la valeur de non-usage.

En premier lieu, une évaluation contingente place le participant dans un contexte hypothétique permettant d'étudier ses préférences par rapport à différents scénarios fictifs. Les réponses des sondés porteront sur leurs intentions telles que leur volonté de participer au projet ou l'importance qu'ils accordent à une option d'implantation. Ces intentions serviront ensuite d'outils pour anticiper les comportements réels. Grâce à cette flexibilité, de nombreux décideurs utilisent l'évaluation contingente afin d'évaluer les préférences de la population concernant un bien public. Deux applications sont décrites plus loin.

En deuxième lieu, l'évaluation contingente est intéressante, puisqu'elle permet d'estimer, en plus de la valeur d'usage, la valeur de non-usage (autrement désignée comme la valeur passive, d'option ou d'existence) d'un bien intangible. La valeur d'usage correspond à la satisfaction de l'agent lors de la consommation ou de l'interaction avec le bien, par exemple, la valeur qu'accorde un individu à la qualité de l'eau qu'il boit. La valeur de non-usage correspond à la satisfaction de l'agent du fait d'avoir accès à un bien, sans pour autant l'utiliser. Krutilla (1967) a soulevé la déficience des études économiques traditionnelles pour évaluer un bien public. En prenant comme exemple le Grand Canyon, Krutilla indique que les individus accordent une valeur d'option à son accès même s'ils ne le visiteront probablement jamais. Les marchés privés sont déficients puisqu'ils n'intègrent pas la valeur d'option dans la courbe de demande privée. Étant la seule

méthode traitant de la valeur de non-usage d'un bien intangible, l'évaluation contingente sera utilisée pour estimer la valeur accordée au contrôle de la séquence d'activation de son chauffe-eau.

2.1.1 APPLICATIONS D'ÉVALUATIONS CONTINGENTES

L'utilisation de la méthode d'évaluation contingente a débuté à la fin des années 1940, sans trop de succès (Portney, 1994). Les premières démarches plus fructueuses sur le plan scientifique ont eu lieu dans le début des années 1960, alors que Davis (1963) obtenu, à partir d'un questionnaire, des consentements à payer pour l'accès à un parc qui étaient semblable à ceux estimés par la méthode des coûts de transports⁵.

La recherche de Krutilla (1967), survolée au chapitre précédent, a donné le ton à l'utilisation d'évaluations contingentes appliquées aux biens environnementaux, notamment en soulevant la présence de la valeur de non-usage. De nombreux économistes ont ensuite repris la technique pour l'appliquer à d'autres champs de recherche (pollution aérienne, congestion, valeur de permis de chasse, etc.).

Un accident tragique pour l'environnement, le déversement du pétrolier d'Exxon Valdez en 1989, a ironiquement exacerbé la crédibilité et l'usage de l'évaluation contingente. Les recherches qui ont suivi, dont celles détaillées ci-dessous, ont été considérées lors des poursuites judiciaires et des plans de prévention du gouvernement américain.

Par rapport au sujet précis à l'étude dans ce mémoire, soit la gestion de la demande en puissance, il n'existe aucune évaluation contingente qui en traite directement. Ce présent ouvrage est donc le précurseur de l'application de la méthode dans le domaine. Toutefois, la méthodologie et les hypothèses pour conduire une évaluation contingente par

⁵ Brièvement, cette méthode d'évaluation d'un bien/service environnemental se base sur les coûts requis pour le consommer (frais d'entrée, dépenses sur place, coût d'opportunité en matière de temps, etc.).

questionnaire sont similaires entre les études. Les recherches de Carson et al. (1992) et de Roy (2009) serviront de comparatifs au mémoire.

Carson et al. (1992)

Le plus important projet évalué par évaluation contingente est celui du déversement pétrolier d'Exxon Valdez dans la baie du Prince-William (Alaska) en 1989. Dirigée par Carson et al. (1992), l'étude chiffre le consentement à payer des Américains pour éviter un accident futur semblable à 2,8 milliards de dollars américains. Ce montant représente une perte de valeur de non-usage puisque les sondés n'ont pas d'interaction avec un déversement éventuel ; ils accordent tout de même une valeur au fait de protéger son état naturel. Cette valeur a été considérée dans les procédures judiciaires contre la firme Exxon, ainsi que pour les plans nationaux de prévention contre les déversements pétroliers (*U.S. Oil Pollution Act of 1990*). Gagnant en crédibilité et en popularité, l'évaluation contingente commença ainsi à animer les débats au sein de la communauté d'économistes. En effet, suite à ces événements, Diamond et Hausman (1994) remirent en doute la fiabilité des évaluations contingentes. Les principales faiblesses de l'évaluation contingente, énoncées par ces chercheurs, sont décortiquées dans la sous-section suivante.

En réponse à ces critiques, le *U.S. Department of Commerce* organisa le panel *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) afin d'évaluer la fiabilité des résultats provenant de ce type d'évaluation. Le panel conclut qu'une évaluation contingente bien conduite est suffisamment fiable pour servir de pièce légale en analyse de dommages causés à l'environnement (Arrow et al., 1993). Ce panel a aussi donné naissance à des recommandations fortement utilisées. Voici une traduction libre de Portney (1994) qui reprend sept des principales suggestions :

1. Les entrevues en personne doivent être priorisées aux sondages téléphoniques. Les sondages par téléphone doivent être priorisés aux questionnaires envoyés par courriel.
2. L'évaluation contingente devrait estimer le consentement à payer/recevoir pour un projet futur plutôt que la compensation requise à un événement passé.

3. La question sur le consentement à payer devrait prendre la forme référendaire et elle devrait être associée à une hausse de taxe éventuelle, puisque les individus ont l'habitude de prendre des décisions dans un tel cadre.
4. Le projet étudié et ses impacts doivent être clairement expliqués dans l'introduction du questionnaire.
5. Le questionnaire doit informer le sondé que le consentement à payer réduira son budget disponible pour d'autres biens.
6. Le questionnaire doit informer le sondé qu'il y a des substituts au bien ou au projet proposé.
7. Le questionnaire doit inclure des questions de validation de la compréhension du sondé.

Les recommandations suivies dans ce mémoire comprennent la préférence pour l'entrevue en personne ayant des bienfaits en termes de qualité des réponses [Voir : 3.1.2 Méthodes de collecte de données], ainsi que la nécessité d'inclure des questions de validation pour juger de la compréhension du sondé. [Voir : 3.2.1 Précisions sur l'élaboration du questionnaire] Enfin, telles que recommandées par Arrow et al. (1993), les questions sur la volonté de participer ou non au projet comportaient une option « Incertain », permettant de cibler les indécis. La catégorisation des indécis est dépeinte dans la section 4.2 concernant le modèle utilisé.

Roy 2009

L'évaluation contingente de Roy (2009) portant sur la pollution visuelle des réseaux câblés de distribution du centre-ville d'Hudson, fait état de comparatif à ce présent mémoire puisque la démarche de travail et les conditions de rédaction sont semblables. L'auteur estime, par évaluation contingente, la valeur économique accordée à la pollution visuelle par les résidents et les commerçants de la ville. Il déduit un consentement à payer annuel moyen de 68,42 \$ et 16 \$ respectivement afin d'enfouir les câbles de distribution.

Roy pose comme hypothèse que les réseaux aériens et souterrains possèdent sensiblement les mêmes caractéristiques (valeur résiduelle, coûts d'entretien, fiabilité, accessibilité,

etc.). Cette étape est cruciale pour isoler la valeur accordée à une seule variable, soit l'esthétisme dans ce cas. Similairement, les hypothèses posées quant aux chauffe-eau traditionnels versus les chauffe-eau avec charge interruptible assurent l'identification de la valeur de non-usage qu'est le contrôle sur la séquence d'activation de son chauffe-eau.

L'auteur est conscient des nuisances causées par les travaux requis à la construction d'un réseau souterrain (bruit, poussière, rues barrées, etc.). Il en informe les sondés. Par contre, il suppose que leur consentement à payer ne devrait pas être affecté par ces désagréments puisque le projet ne débutera que dans plusieurs années. Cette hypothèse représente une faiblesse. Pour y remédier, le présent mémoire considère le temps d'installation de la charge interruptible, analogue aux nuisances de la construction d'un réseau de câbles souterrain, comme un coût privé pour le participant.

L'étude de Roy considère que le projet d'enfouissement des câbles n'aura pas d'impact (bénéfice ou coût) environnemental. Cela diffère de ce travail, puisque la prise de contrôle sur un nombre considérable de chauffe-eau a des impacts sociaux positifs et négatifs non négligeables. [Voir : 3.3 Hypothèses de travail]

Les choix de la taille des échantillons visée et de l'une des méthodes de collecte de données (en personne) s'inspirent de la méthodologie de Roy. [Voir : 3.1 Collecte de données] D'autre part, comme dans le présent mémoire, Roy utilise le type de question à réponse ouverte plutôt que de forme référendaire pour le consentement à payer. [Voir : 3.2.2 Format des questions — Consentement à recevoir] Son argument repose sur l'incertitude quant aux préférences individuelles, compliquant le balisage des consentements lors de la conception du questionnaire (aucun point de référence).

2.1.2 CRITIQUES DE L'ÉVALUATION CONTINGENTE

Faisant suite à sa critique de 1994 (Diamond et Hausman), Hausman (2012) réaffirme ses positions en condamnant les évaluations contingentes pour les biais implicites qu'elles entraînent. Il qualifie les résultats d'opinions inventées sur-le-champ plutôt que l'expression de préférences bien définies et stables. Voici un résumé de trois des quatre principales critiques énoncées par Hausman⁶ et appuyées par d'autres spécialistes de l'évaluation contingente. La sous-section suivante démentira ces critiques.

A) Biais hypothétiques

Puisque le contexte est hypothétique (fictif), les conclusions d'une évaluation contingente présupposent une compréhension parfaite des hypothèses de travail par les répondants. Or, dû à la courte durée du sondage, le répondant a peu de temps pour bien assimiler les nuances du projet. L'auteur déplore aussi le fait que les participants n'intègrent que partiellement leur contrainte budgétaire lorsqu'ils n'ont pas à prendre de décisions réelles, ce qui biaise leur propre estimation du consentement désiré (Diamond et Hausman, 1994). Hausman (2012) défend l'argument du biais hypothétique en prenant comme exemple deux articles, soit celui de Hsiao, Sun et Morwitz (2002) et de Morwitz, Steckel et Gupta (2007). Ces articles rigoureux décrivent, à l'aide de modèles économétriques, les variables qui influencent les différences entre les intentions et les décisions réelles d'achats d'un bien. Hausman cite ces auteurs sur le fait que les prévisions d'achats sont mieux réussies lorsque le consommateur est familier avec le nouveau produit. Hausman affirme ensuite que les répondants d'une évaluation contingente sont généralement non familiers avec le bien. Il pose ainsi un lien de causalité discutable, étant que les consentements à payer/recevoir dans un marché hypothétique sont de mauvais estimateurs du réel montant désiré puisque les individus sondés ne sont pas familiers avec le bien.

⁶ L'une des critiques concerne les écarts entre les CAP et les CAR. Elle est traitée dans la section 2.2.

B) Biais stratégiques et d'entrevue

Whittington et al. (1990) associent les biais stratégiques et d'entrevue à la piètre qualité des enquêtes. Cette théorie émerge d'évaluations contingentes réalisées dans des pays en voie de développement. Whittington et al. décrivent le biais stratégique comme suit : si le participant croit que sa réponse influencera la décision d'investissement du projet, il pourrait surévaluer son consentement à recevoir pour que le projet (désavantageux) n'ait pas lieu. Ou encore, s'il est certain que le projet aura lieu, il pourrait surestimer son consentement à recevoir pour augmenter le montant qui lui sera versé. Ce biais est contourné par les moyens évoqués dans la sous-section 3.2.1.

Des biais peuvent aussi émaner lors des entrevues en personne. Le répondant peut être influencé par sa volonté de « satisfaire » aux attentes du sondeur (*enumerator bias*). Il acquiescerait de manière automatique un montant proposé par le sondeur qui ne représente pas correctement ses préférences. Ce phénomène s'observe aussi lorsque le sondé désire fournir une réponse socialement acceptable (Lindgjem et Navrud, 2011) aux yeux du sondeur. Le consentement à recevoir des individus approchés en personne serait sous-estimé. L'analyse des résultats comporte une partie sur ce biais. [Voir : 5.4.6 Biais]

C) Biais d'inclusion et d'échelle⁷

Un biais d'inclusion (ou biais social) est le fait qu'un répondant au questionnaire donne une valeur à une notion de bonne action sociale ou environnementale plutôt qu'aux bénéfices directs du projet (*warm glow*). Il intègre la satisfaction sociale d'augmenter l'accès à un bien public dans sa fonction d'utilité. Diamond et Hausman (1994) ont créé un test de sommation (*adding-up test*) ainsi : la somme des consentements à payer pour trois projets distincts doit être équivalente au consentement à payer pour la combinaison de ces trois projets. Un consentement à payer/recevoir pour des biens qui ne sont pas parfaitement substituables va donc toujours échouer le test de sommation. Ceci invalide l'estimation du consentement par évaluation contingente selon ces économistes.

⁷ Traduction libre des termes anglais : *endowment* et *scope effects*.

2.1.3 RÉPONSES AUX CRITIQUES

A) Biais hypothétiques

L'article de Hsiao, Sun et Morwitz (2002), pourtant cité par Hausman (2012), est une démonstration empirique que les intentions sont des prédicateurs puissants des décisions d'achats réelles. La moyenne pondérée des intentions d'achats est le meilleur estimateur des décisions réelles. Cette étude indique que les préférences des agents économiques sont généralement bien internalisées. Subséquemment, l'évaluation d'un marché hypothétique a le potentiel d'être représentative du réel consentement à recevoir/payer.

Il y a des techniques plus précises pour réduire la différence entre les consentements à payer/recevoir intentionnels et réels. Cummings et Taylor (1999), entre autres, proposent une technique surnommée *cheap talk*. Celle-ci consiste à expliciter, dans l'introduction du questionnaire, la définition et la nature des biais hypothétiques. Ils prouvent que cette méthode est robuste et reproductible pour différentes expérimentations. Sans utiliser formellement cette technique, le présent mémoire porte une attention particulière à l'élaboration du questionnaire afin de minimiser le biais d'hypothétique. [Voir : 3.2.1 Précisions sur l'élaboration du questionnaire]

B) Biais stratégiques et d'entrevue

Les corrections appropriées aux biais stratégiques et d'entrevue, résumées par Whittington (2010), sont pertinentes à cette étude, car une collecte de données en personne sera effectuée. Pour minimiser les biais d'entrevue, l'auteur propose le protocole *time-to-think*, consistant à diviser l'entrevue en deux sessions pour laisser un temps de réflexion. Cette méthode engendre les trois bienfaits suivant : (1) l'élimination du problème d'acquiescement automatique d'une proposition, (2) le partage d'informations sur le projet entre les membres du ménage et (3) l'internalisation de sa contrainte budgétaire. Ce processus *time-to-think* va inspirer l'élaboration du questionnaire employé dans le mémoire; le temps de réflexion sera priorisé. En ce qui a trait aux biais stratégiques, la littérature ne propose pas de solutions standardisées. Il faut construire des échantillons et tester les éléments qui sont susceptibles d'influencer les

comportements stratégiques. L'influence des informations fournies aux répondants doit faire partie intégrante des tests de validité conduits avant et après la collecte des données.

C) Biais d'inclusion et d'échelle

La revue des articles de Nunes et al. (2003, 2009) sur le biais d'inclusion (*warm glow*) est particulièrement intéressante. Le modèle de base (Nunes et Schokkaert, 2003) consiste à exprimer le consentement à payer/recevoir en fonction de trois variables : le biais d'inclusion (satisfaction sociale), la valeur d'usage (satisfaction dans l'utilisation du bien) et la valeur de non-usage (satisfaction d'avoir accès un bien). En effectuant des tests sur ce modèle, ils montrent que le biais de satisfaction sociale est parfois constant pour un groupe particulier, donnant la possibilité de l'éliminer et de satisfaire au test de sommation (*adding-up test*) créé par Diamond et Hausman (1994). Nunes, Blaeij et van den Bergh (2009) ont repris et complexifié le modèle. D'abord, ils divisent le biais d'inclusion en deux types : celui spécifique au projet (*material warm glow*), représentant la valorisation des bénéfices sociaux, et celui de type moral (*moral warm glow*), dérivé du sentiment de satisfaction individuelle pour la participation à une cause sociale. Ensuite, l'ouvrage décortique l'échantillon en groupes selon une caractéristique de nature sociodémographique ou comportementale. Puis, en régressant les deux types de biais en fonction des groupes, l'article définit la corrélation entre une variable comportementale et un type de biais. En pratique, les décideurs publics peuvent mieux comprendre les préférences de chaque groupe, précisément par rapport à la valorisation des bénéfices sociaux d'un projet et à la satisfaction morale de soutenir l'approvisionnement d'un bien public. Le biais d'inclusion devient ainsi une force de l'évaluation contingente. Inspiré des articles susmentionnés, le questionnaire de ce mémoire se divise en deux versions. Une différence entre les consentements à recevoir moyens de ces deux versions estimerait le biais social. [Voir : 3.2.1 Précisions sur l'élaboration du questionnaire et 5.4.6 Biais]

2.1.4 CONCLUSION DE LA DISCUSSION SUR L'ÉVALUATION CONTINGENTE

La méthode d'évaluation contingente a été étudiée sous de nombreux angles et la majorité des biais peuvent dorénavant être identifiés de manière fiable. Les conclusions de cette revue de littérature vont dans deux directions : l'une étant le besoin absolu d'éliminer les biais pour valider l'utilisation d'une évaluation contingente, l'autre étant d'accepter les biais et de les utiliser comme outils d'analyse. Pour représenter ces deux visions, plusieurs méthodes ont été détaillées dont la méthode d'élimination du biais hypothétique de Cummings et Taylor (1999) et celle d'identification des biais de satisfaction morale de Nunes et al. (2009). Le mémoire s'aligne légèrement plus vers la voie d'identification des biais en utilisant deux versions du questionnaire et deux méthodes de collecte de données. Il en sera question dans le chapitre sur la méthodologie.

Par ailleurs, les applications d'évaluations contingentes sur des variables environnementales telles que la pollution sont nombreuses. Le défi de la recherche est actuellement d'utiliser la méthode sur des projets connexes. La gestion de la demande en puissance, qui croit en importance pour des raisons de contraintes environnementales et d'allocation optimale des ressources, a le potentiel d'être un nouveau berceau d'études en évaluation contingente. La gestion de la consommation d'électricité implique plusieurs types de valeurs de non-usage, dont celle sur le contrôle d'électroménagers. Ce mémoire étend donc les applications d'évaluations contingentes en déterminant la valeur accordée à l'option de contrôler la séquence d'activation de son chauffe-eau.

2.2 CONSETEMENTS À RECEVOIR ET À PAYER

Actuellement, la séquence d'activation des éléments chauffants d'un chauffe-eau au Québec ne peut pas être contrôlée manuellement. Néanmoins, un individu pourrait considérer le contrôle externe de la séquence d'activation de son chauffe-eau comme une intrusion dans sa vie privée. Pour ce type d'utilisateur, la programmation du chauffe-eau se traduirait comme un projet désavantageux, qui réduirait son utilité totale par rapport à la situation initiale (sans projet). Le questionnaire sert, d'abord, à identifier les individus voulant être compensés, puis à déterminer le montant minimal qu'ils jugeraient acceptable de recevoir pour participer. Lorsque le projet a lieu et que le montant consenti est versé, l'agent conserve le même niveau d'utilité qu'avant son implantation. Arrow et al. (1993) indique que le choix entre le consentement à payer⁸ ou à recevoir dépend de l'objectif du travail. **Le consentement à recevoir sera utilisé dans ce mémoire puisque le but est d'estimer la compensation financière requise pour motiver la participation au projet.**

Différences entre les consentements à payer et à recevoir

Un autre débat concernant l'évaluation contingente porte sur la différence entre les estimations des consentements à payer et à recevoir. Les concepts de consentement prennent racine dans la fonction de demande « hicksienne ». Celle-ci présuppose la rationalité des choix individuels, d'où la possibilité d'agréger les consentements. L'un des problèmes fondamentaux réside dans le fait qu'un individu averse au risque (fonction d'utilité concave) accorde des poids différents à la perte et au gain monétaire. Puisque le choix du type de consentement a un impact sur les résultats, Hausman (2012) affirme que la méthode d'évaluation contingente n'est pas fiable.

D'un autre point de vue, Carson (2012) argumente que ces différences entre les consentements n'invalident pas l'utilisation de l'évaluation contingente et, qu'au

⁸ Le consentement à payer représente le montant maximal qu'un agent consentirait pour que le projet n'ait pas lieu, réduisant son utilité jusqu'au niveau d'avant le projet.

contraire, elles témoignent du réalisme de cette technique. Les écarts proviennent principalement des interactions entre les marchés et certaines irrationalités des agents. Chaque projet n'évolue pas en vase clos, alors dû aux multiples opportunités, les choix des agents fluctuent grandement. Proposer un projet complexe multiplie les interactions avec d'autres éléments de l'économie, ce qui tend à exacerber les différences entre les types de consentement. Par ailleurs, Carson évoque la théorie behavioriste sur le fait que les comportements réels ne sont pas parfaitement estimables, car les décisions et comportements individuels ne sont pas tous rationnels. Il est donc attendu d'observer des divergences entre les deux types de consentement. Elles mettent en relief le réalisme des évaluations contingentes pour évaluer des biens non marchands dans des marchés complexes.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 COLLECTE DE DONNÉES

3.1.1 POPULATION CIBLE

Deux techniques ont été considérées pour déterminer la population cible : l'approche légale et l'approche empirique (Carson et Hanemann, 2005).

L'approche légale propose de choisir les sous-groupes d'individus qui sont affectés monétairement par le projet. Dans le cadre d'un projet national orchestré par Hydro-Québec, les économies de coûts de distribution d'électricité peuvent affecter tous leurs clients. De ce fait, tout Québécois qui contribue au paiement d'une facture d'électricité serait admissible à l'étude.

L'approche empirique, quant à elle, sollicite le choix de la population cible en fonction de la valorisation du projet. Un bien public local a plus d'impact sur l'utilité des individus de cette localité, ainsi leurs préférences devraient être priorisées. Ici, aucun groupe ne se distingue en fonction de la proximité avec la séquence d'activation des chauffe-eau. Toute la population québécoise se qualifierait selon cette approche.

La méthode empirique a été retenue pour identifier la population cible puisque chaque membre d'un ménage est susceptible de valoriser la séquence d'activation de son chauffe-eau, et ce, indépendamment du paiement ou non d'une facture d'électricité. Par ailleurs, certains individus pourraient être inadmissibles au projet pour des raisons techniques. C'est le cas des ménages possédant un chauffe-eau non électrique et ceux ne possédant pas de compteur intelligent ou de réseau Internet privé. Néanmoins, ces particularités techniques n'entravent pas la valorisation de l'objet d'étude, soit la valeur accordée au contrôle. Les liens statistiques entre les choix de participation et ces variables d'admissibilité au projet sont tout de même estimés dans l'analyse des résultats pour juger du choix de les inclure dans la population visée. [Voir : 5.4.5 Critères techniques]

Puisqu'une collecte de données sur l'ensemble du territoire québécois n'est pas réaliste dans les conditions de cette recherche, les résidents majeurs de l'agglomération de

Montréal⁹ et de la Ville de Laval ont été sélectionnés comme population cible. Il n'y a pas de fondement théorique ou empirique sur la valorisation particulière d'un groupe pour le projet, alors segmenter davantage aurait impliqué des hypothèses trop fortes. Autrement, les résultats de l'étude identifieront les sous-groupes de la population selon la valeur qu'ils attribuent au programme.

3.1.2 MÉTHODES DE COLLECTE DE DONNÉES

Le questionnaire a été construit avec l'outil en ligne Qualtrics. Cette plateforme a permis la collecte de données par les deux canaux choisis : la collecte porte-à-porte et l'envoi du sondage en ligne. Tous les détails pratiques sur le déroulement des collectes de données sont dépeints dans le complément 1 en annexe B. La récolte de données s'est échelonnée sur trois semaines, soit entre le 30 août et le 20 septembre 2016.

Entrevue en personne

L'entrevue en personne, privilégiée par le panel NOAA en évaluation contingente (Arrow et al., 1993), est la première méthode retenue. Deux principales raisons justifient ce choix, soit l'atténuation du biais hypothétique et la richesse de l'information collectée. L'une des sources de biais hypothétiques est la mauvaise compréhension du projet et/ou des hypothèses de recherche. Le chercheur physiquement présent peut répondre directement aux incompréhensions, minimisant ce biais. Dans le même ordre d'idées, le contact interpersonnel favorise l'attention et la motivation du sondé pour la recherche (Lindgjem et Navrud, 2011). Les répercussions s'expriment à travers la qualité des commentaires écrits et la comptabilisation de commentaires oraux pertinents à l'étude. Par ailleurs, une approche neutre est cruciale pour ne pas créer de biais d'entrevue. Pour ce faire, l'indépendance de l'étude, principalement envers le fournisseur d'électricité Hydro-Québec, est clairement explicitée. Le complément 2, apparaissant en annexe B,

⁹ L'agglomération de Montréal comprend la Ville de Montréal et les quinze villes reconstituées.

précise les techniques utilisés lors du discours d'entrevue afin de maximiser la performance de ce type de collecte d'informations.

Message électronique

La seconde méthode utilisée consiste à envoyer, par message privé, un lien donnant accès au questionnaire. Ce procédé est efficace puisqu'il permet de collecter un grand nombre d'avis, d'analyser un sous-groupe de la population visée et de réduire la variance de l'échantillon complet (Fleming et Bowden, 2009). Ces trois éléments sont cruciaux puisqu'ils favorisent la significativité des coefficients estimés par le modèle économétrique. La preuve d'une spécification du modèle enrichie pour l'échantillon complet est discutée dans la sous-section 4.2.3. En addition, un écart des consentements à recevoir moyens entre les échantillons, différemment sondés, témoignerait d'un biais d'entrevue. [Voir : 5.4.6 Biais]

3.1.3 MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE

Échantillonnage en grappes

La première technique utilisée pour la collecte de données de porte en porte est l'échantillonnage par grappes. L'arrondissement Rosemont – La Petite-Patrie et le quartier Laval-des-Rapides ont été sélectionnés par pige, soit de façon aléatoire. Les caractéristiques sociodémographiques des individus de ces grappes sont représentatives de leur population respective, soit l'agglomération de Montréal et la Ville de Laval. Ensuite, une zone géographique par grappe a été choisie au hasard (pige) pour la collecte de données en personne. Les zones sont illustrées dans les figures 8 et 9 en annexe B. C'est une technique d'échantillonnage probabiliste, car chaque individu à l'intérieur d'une grappe a une probabilité positive d'être interrogé. Cette approche balance bien la qualité statistique et le coût de l'étude dans un contexte d'une large population visée et de ressources limitées (Statistique Canada, 2013).

Échantillonnage de commodité

L'échantillonnage de commodité a été exploité pour la prise de données en ligne. Un message d'invitation à l'étude était envoyé directement par le chercheur qui pouvait autoriser la redistribution de ce lien dans l'entourage des personnes contactées. Cette méthode est non probabiliste puisque chaque individu de la population n'a pas une probabilité équivalente d'être sondé. La qualité des données peut être remise en question en raison du biais de sélection. Ce biais comporte deux facettes : 1) les individus répondent puisqu'ils sont intéressés par le sujet de l'étude plutôt qu'à l'intérêt de la recherche et 2) l'échantillon est sélectionné dans un réseau possédant des caractéristiques similaires (homogénéité).

Le chercheur pose l'hypothèse que les répondants sont motivés à appuyer sa recherche plutôt qu'intéressés particulièrement par le projet de débranchement de chauffe-eau. Des précisions sur cette hypothèse sont fournies dans la sous-section 3.1.5 Résultats de la collecte de données.

Nonobstant, l'homogénéité potentielle des personnes de l'entourage du sondeur est scrutée dans la sous-section 3.1.6 Représentativité de l'échantillon. En matière d'avantages, cette technique enrichit la collecte de données et permet de cibler des groupes de la population moins bien représentés par l'enquête en personne. C'est le cas de nombreux jeunes adultes montréalais (18-24 ans) qui peuvent difficilement être sondés puisqu'ils vivent en immeubles d'habitation. De ce fait, l'utilisation de cette technique d'échantillonnage est complémentaire à l'échantillonnage effectué par grappe.

3.1.4 ÉCHANTILLON VISÉ

Les populations visées sont les habitants majeurs de l'agglomération de Montréal, ainsi que ceux de la Ville de Laval. L'échantillon se divise en trois. Le premier échantillon se compose uniquement de résidents de la Ville de Montréal, tous sondés en personne. Le deuxième échantillon comprend uniquement des résidents lavallois également sondés en

personne. Le troisième échantillon est un groupe mixte sondé par message électronique. Ce groupe est majoritaire composé de jeunes adultes montréalais, sans exclure les individus d'autres groupes d'âge ou d'autres régions.

Les tailles d'échantillons visées sont de 70 à Montréal et 60 à Laval pour les entrevues en personne, et de 100 répondants pour la collecte en ligne. Ces objectifs ont été déterminés en fonction de plusieurs critères. Il était essentiel d'obtenir une taille d'échantillon minimale pour la fiabilité de l'étude. Il fallait aussi considérer le choix des méthodes d'échantillonnage, comme l'entrevue en personne qui requière d'importantes ressources, notamment en temps. Le développement de la recherche devait respecter le contexte des contraintes de ressources humaines, financières et temporelles.

3.1.5 RÉSULTATS DE LA COLLECTE DE DONNÉES

Au total, 269 réponses complètes ont été obtenues¹⁰. L'échantillon complet se divise en trois groupes : Montréal (67 répondants), Laval (51 répondants), et mixte (151 répondants, dont 105 Montréalais). Le taux de réponse en porte-à-porte était de 68 % à Montréal, soit 98 personnes approchées et 67 réponses complètes obtenues, et de 62 % à Laval, soit 82 individus approchés et 51 réponses complètes. Le taux de participation en ligne était de 74 %, soit 140 messages privés envoyés et 103 réponses complètes obtenues. Les 48 autres répondants de l'échantillon en ligne ont été contactés indirectement, c'est-à-dire par message privé provenant d'une autre personne que le chercheur. Il est impossible de connaître le taux de participation de ce groupe.

Les répondants et les non-répondants peuvent avoir des caractéristiques et des préférences différentes, il est donc pertinent d'observer les taux de réponse pour chacune des méthodes pour en déduire le biais de sélection. Mécaniquement, lorsque le taux de réponse est faible, le risque de biais de sélection est élevé. Bien qu'il n'y ait pas de consensus sur des seuils précis, la littérature indique qu'un taux de réponse supérieur à

¹⁰ Sur un total de 302 questionnaires remplis, 33 ont été éliminés en raison d'achèvement partiel.

60 % est acceptable (Johnson et Wislar, 2012). Les résultats de la collecte de données satisfont ce seuil. De manière plus précise, il est crucial d'examiner les motifs de réponses. Comme mentionnés, des biais surviennent lorsque la participation dépend du sujet de l'enquête. Si les caractéristiques des participants sont différentes de celles des non-participants, alors les réponses sont biaisées (Groves, Presser et Dipko, 2004). Plusieurs éléments de cette enquête en question aident à minimiser ce phénomène : (1) le discours d'entrevue et l'introduction du questionnaire accorde beaucoup d'importance au motif académique de la recherche, (2) le thème de la consommation d'électricité affecte la population de façon modérée et (3) une forte proportion des sondés ne connaît pas la technologie de débranchement des chauffe-eau, leur jugement n'est pas altéré par des idées préconçues. Ces composantes appuient la conclusion que le **biais de sélection des non-répondants est négligeable**.

3.1.6 REPRÉSENTATIVITÉ DE L'ÉCHANTILLON

La section suivante regroupe les trois échantillons, soit les deux échantillons provenant des collectes de données en personne à Montréal (échantillon 1) et à Laval (échantillon 2), ainsi que de l'échantillon mixte provenant de la collecte de données en ligne (échantillon 3). De manière générale, l'échantillon complet représente bien la population cible, étant les habitants de Montréal et de ses alentours. Ce constat est important puisque l'objectif de ce mémoire est d'extrapoler les résultats de l'échantillon à l'ensemble de la population visée. Le complément 3 en annexe B expose les statistiques pour chaque échantillon distinct.

Les données proviennent de deux sources d'enquête : *l'Enquête nationale auprès des ménages de 2011* et le *Programme du Recensement de la population de 2011*. Les approximations sur le nombre d'individus par circonscription peuvent différer légèrement entre ces deux sources de données, cela n'affecte pas l'analyse.

Sept variables sociodémographiques servent de comparatif entre l'échantillon et la population visée (habitants de l'agglomération de Montréal et la Ville de Laval), soit le

genre, la langue maternelle, le mode d'occupation du lieu de résidence, la taille du ménage, l'âge, la scolarité et le revenu brut du ménage. **Les cases en rouge des tableaux suivants indiquent une différence de la variable observée de plus de 10 % entre la population visée et l'échantillon complet.**

Tableau 1 Représentativité du genre

Genre	Population	Échantillon
	2 020 519	269
Homme	48 %	52 %
Femme	52 %	48 %

Le ratio homme-femme est bien représenté.

Tableau 2 Représentativité de la langue maternelle

Langue maternelle	Population	Échantillon
	2 168 610	269
Français	51 %	89 %
Anglais	16 %	3 %
Autres	33 %	9 %

La proportion de francophones de l'échantillon est grandement supérieure à celle de la population visée. Cette faiblesse remet en doute la validité de la variable *français*, dont il sera question dans l'analyse des résultats. Ce nombre élevé de francophones provient d'une combinaison de plusieurs facteurs : le questionnaire rédigé en français, l'approche du sondeur en porte-à-porte effectuée en français, l'entourage du sondeur majoritairement francophone, et les quartiers (tirés aléatoirement) de collecte de données en personne dominés par la langue française.

Tableau 3 Représentativité du mode d'occupation

Mode d'occupation	Population	Échantillon
	1 003 895	269
Propriétaire	44 %	51 %
Locataire	56 %	49 %

Le mode d'occupation de son lieu de résidence est bien représenté. Les sondés vivants chez leurs parents sont comptabilisés en tant que locataires. Les copropriétaires sont inclus dans les propriétaires.

Tableau 4 Représentativité de la taille du ménage

Taille du ménage	Population	Échantillon
	1 003 913	269
1	37 %	17 %
2	31 %	34 %
3	14 %	20 %
4 ou 5	16 %	28 %
6 ou plus	2 %	1 %

L'échantillon sous-représente les individus vivants seuls en sondant une proportion trop grande de ménages à quatre ou cinq membres. Ce fait illustre la difficulté à joindre des personnes seules particulièrement en raison de leur lieu de résidence (immeubles d'habitation).

Tableau 5 Représentativité de l'âge

Tranche d'âge	Population	Échantillon
	2 288 034	269
Nombre d'enfants	436 170	0
Nombre d'adultes	1 851 985	269
18-24 ans	11 %	30 %
25-39 ans	28 %	23 %
40-54 ans	27 %	21 %
55-64 ans	15 %	13 %
65 ans et plus	19 %	13 %

La distribution de l'âge des répondants s'aligne bien avec celle de la population visée à l'exception du groupe d'âge 18 à 24 ans légèrement surreprésenté. Le mode d'échantillonnage par commodité est à l'origine de cette tendance ; l'entourage du sondeur est majoritairement composé d'individus de ces âges.

Tableau 6 Représentativité de la scolarité

Scolarité	Population	Échantillon
	1 269 925	269
Aucun diplôme	12 %	3 %
Secondaire	18 %	9 %
Collégial	30 %	16 %
Premier cycle	26 %	43 %
Cycles supérieurs	14 %	29 %

Les données sur la population comprennent les personnes âgées de 25 à 64 ans selon leur plus haut certificat, diplôme ou grade. Les catégories Collégial, Premier cycle et Cycles supérieurs incluent, respectivement, les certificats ou diplômes de niveau non universitaire, universitaire de premier cycle et universitaire de deuxième ou troisième cycle.

Les niveaux de scolarité complétés sont largement supérieurs dans l'échantillon que dans la population cible. L'échantillon 3 provenant en majorité des connaissances du sondeur se compose d'une plus grande proportion d'universitaires (81 %) comparativement à la population (40 %). Cette statistique est aussi élevée pour les échantillons 1 (67 %) et 2 (53 %), ce qui soulève la question du biais de sélection. Pour les raisons énoncées à la section 3.1.5 Résultats de la collecte de données, il est valable de croire que les répondants sont intéressés au motif de la recherche plutôt qu'au sujet de gestion directe de la charge. De ce fait, il est considéré que la surreprésentation des universitaires n'invalide pas les résultats collectés.

Tableau 7 Représentativité du revenu avant impôts du ménage

Revenu brut du ménage	Population	Échantillon
	1 003 920	269
Moins de 24 999 \$	26 %	17 %
Entre 25 000 et 49 999 \$ ¹	27 %	20 %
Entre 50 000 et 69 999 \$ ²	15 %	14 %
Entre 70 000 et 99 999 \$ ³	15 %	19 %
Plus de 99 999 \$ ⁴	17 %	24 %
Sans réponse	S.O.	6 %

¹ Inclus la moitié des ménages entre 25 000 et 29 999 \$ pour la population de Montréal.

² Inclus la moitié des ménages entre 25 000 et 29 999 \$ pour la population de Montréal.

³ Inclus la moitié des ménages entre 60 000 et 79 999 \$ pour la population de Montréal.

⁴ Inclus la moitié des ménages entre 60 000 et 79 999 \$ pour la population de Montréal.

La distribution des revenus totaux des ménages de l'échantillon concorde avec celle de la population. Il y a une légère surreprésentation des ménages aux revenus supérieurs à 70 000 \$ au détriment de ceux sous 50 000 \$.

En récapitulatif, les caractéristiques de l'échantillon complet sont représentatives de celles de la population visée, soit de Montréal et ses alentours. Il y a quelques éléments qui nécessiteront une attention particulière lors de l'analyse des résultats : le français comme langue maternelle, la surreprésentation du groupe d'âge 18 à 24 ans et la scolarité globalement plus élevée.

3.2 QUESTIONNAIRE

3.2.1 PRÉCISIONS SUR L'ÉLABORATION DU QUESTIONNAIRE

Cette section souligne les détails de la conception de chacune des parties du questionnaire afin d'améliorer la qualité et la fiabilité des réponses. Le questionnaire complet est présenté dans le complément 4 en annexe B, et il se dessine comme suit : A) introduction, B) corps et C) profil sociodémographique.

A) Introduction

L'introduction est une partie critique du questionnaire. L'information doit éclairer le répondant dans sa réflexion, sans le submerger d'idées, ce qui est désigné par le concept de *face validity* (Carson et Hanemann, 2005). Trois principes fondamentaux ont été instaurés lors de la rédaction : l'acuité, la crédibilité et l'indépendance de l'étude.

Les hypothèses de travail, présentées à la section 3.3, et les éléments essentiels à la compréhension du projet sont décrits avec justesse. Une mise en situation hypothétique peut mener à des incompréhensions, d'où l'importance de l'acuité des explications. Pour établir la crédibilité de l'enquête, quelques références pertinentes appuient les caractéristiques du projet. À titre d'exemple, l'étude de Moreau (2011) est énoncée pour justifier l'hypothèse d'impact nul sur la consommation d'eau chaude. Dans l'optique de réaffirmer la crédibilité, l'approbation du questionnaire par le Comité d'éthique de la recherche de HEC Montréal est évoquée. Enfin, le répondant pourrait être incité à surévaluer son consentement à recevoir s'il croit que sa réponse aura un impact sur le montant réel reçu (Whittington et al., 1990). La motivation académique de la recherche et l'affiliation avec deux membres du corps professoral sont mises de l'avant afin d'exprimer l'indépendance de la recherche par rapport à Hydro-Québec et d'éviter la présence d'un biais stratégique.

B) Corps

La partie maîtresse du questionnaire comprend six parties : les conditions d'implantation du projet, le contrôle à distance des chauffe-eau, les bénéfices, une mise en situation et le

consentement à recevoir, les déterminants de la participation, et le programme obligatoire.

Biais d'inclusion

Un facteur d'impact sur la valorisation d'un bien est le lien avec son environnement. Le projet de contrôle des chauffe-eau résidentiels s'inscrit dans une logique de gestion responsable de la consommation d'électricité. La participation à ce dessein a donc des impacts sociaux¹¹. Pour évaluer séparément la valeur accordée au projet et la valeur accordée aux bénéfices sociaux, deux versions du questionnaire ont été créées.

La première version vise à estimer le consentement à recevoir pour les impacts personnels causés par le projet, principalement, le caractère d'intrusion dans la vie privée. Pour ce faire, cette version ne mentionne pas les bénéfices sociaux liés au projet. La deuxième version comprend des détails et des questions sur les bénéfices externes. Il est toutefois question de la valeur individuelle qu'accorde le répondant à une variable sociale, et non la valeur qu'il croit socialement acceptable. Comme revue dans l'article de Nunes et Schokkaert (2004), une différence entre les consentements à recevoir moyens témoignerait d'un biais d'inclusion et permettrait d'estimer la valeur accordée aux externalités. Les conclusions sur ce biais sont émises dans la sous-section 5.4.6 Biais.

Biais hypothétique

Un autre facteur crucial de l'évaluation contingente est le traitement des biais hypothétiques. Il a été signalé que les méthodes de collectes de données avaient un impact sur la compréhension du projet par le répondant. La conception du questionnaire a un effet d'autant plus marqué sur la neutralité et la performance de l'information transmise. Trois angles d'approches ont été poursuivis : la sophistication, la validation et la progression.

Le premier angle d'approche est la sophistication du questionnaire. Le format électronique permet la création de liens entre les questions. Par exemple, l'étude ne suppose pas *a priori* que le contrôle externe de la séquence d'activation de son chauffe-

¹¹ Les bénéfices et les coûts mentionnés dans cette partie sont détaillés dans la section suivante.

eau est valorisé. Un résultat possible est de considérer que le « télécontrôle » n'est pas intrusif, menant à un consentement à recevoir nul. Pour représenter ce scénario, le sondé est invité à se prononcer sur son consentement à recevoir conditionnellement à d'autres questions, telles que sa considération de l'intrusion et la pertinence d'une compensation pour cet aspect précisément. La conception complexe du questionnaire va se mouler davantage aux préférences des individus, ainsi que favoriser la profondeur de la réflexion sur des variables d'importance. Dans la même optique, les répondants peuvent commenter leurs réponses, dont celles sur les variables considérées dans leur consentement à recevoir. Les commentaires verbaux, notés dans les entrevues en personne, jumelés aux commentaires écrits permettent un angle d'analyse qualitative.

Le second angle d'approche est la vérification de la compréhension des répondants. Voici un exemple de question de logique où le temps d'installation et le caractère d'intrusion sont les éléments observés : une première question concerne l'importance de chaque variable, le répondant indique « Très important » pour le temps d'installation et « Indifférent » pour le caractère intrusif. Une seconde question considère l'importance relative de ces deux variables dans le consentement à recevoir. Si l'individu répond « 100 % » au temps d'installation et « 0 % » au caractère d'intrusion, ces préférences semblent être cohérentes au fil du questionnaire.

Le troisième angle d'approche est la progression des questions qui est conçue pour favoriser l'intégration de toutes les informations. Inspiré par le protocole *time-to-think* (Whittington, 2010), le développement du raisonnement s'effectue par blocs : description du fonctionnement général du projet et des hypothèses, détails sur les options technologiques, explications des impacts, etc. À travers la lecture et la réponse à ces questions, les préférences individuelles quant au projet se définissent. À différents moments dans le questionnaire, la volonté de participer au projet et la compensation désirée pour y adhérer sont demandées. La réflexion évolue, c'est pourquoi les réponses sont libres d'évoluer. La formulation appropriée permet d'éviter les redondances.

C) Profil sociodémographique

Les caractéristiques influençant le choix de participer au projet sont identifiées grâce aux questions sur le profil du répondant. Ces variables sont très utiles pour mieux comprendre la population visée, et ajuster les efforts d'implantation du projet selon les sous-groupes intéressés au projet. Cette section a été placée à la fin du questionnaire afin que des aspects techniques, comme la présence d'un compteur intelligent, n'interfèrent pas avec la réflexion.

3.2.2 FORMAT DES QUESTIONS — CONSENTEMENT À RECEVOIR

La littérature est divisée quant au type de question (à réponse fermée, référendaire ou ouverte) idéal pour le consentement à recevoir. La question à réponse fermée est conseillée par le panel NOAA (Arrow et al., 1993). La défense de ce choix repose sur l'habitude des gens à répondre à ce type de question. La forme référendaire consiste en une série de questions à réponse fermée. Elle est utilisée pour trouver le consentement à payer maximal, débutant par un montant faible, puis augmentant graduellement. Le problème de ces techniques est le biais d'ancrage : proposer une valeur influence la réponse du sondé (Boyle, Bishop et Welsh, 1985). Le contrôle de la séquence d'activation de son chauffe-eau est une valeur de non-usage d'un bien intangible, les individus n'ont donc pas une idée claire de la valeur qu'ils y accordent. Proposer un montant pose donc un risque de biais beaucoup trop important dans l'environnement étudié. L'alternative est la forme de question à réponse ouverte. Ce type d'approche comporte des risques de biais stratégiques et hypothétiques. Pour contrer cette éventualité, des mesures concrètes ont été prises. [Voir : 3.2.1 Précisions sur l'élaboration du questionnaire]

3.3 HYPOTHÈSES DE TRAVAIL

Pour que les résultats puissent être extrapolés à l'ensemble de la population visée, le scénario du projet présenté aux sondés doit représenter les conditions réelles d'un projet éventuel. Cela dit, le questionnaire ne doit pas être surchargé d'informations, pour les raisons mentionnées dans la section précédente. Les hypothèses de travail servent ainsi à choisir les informations clés à communiquer. Elles sont dérivées essentiellement du projet pilote de *Charges interruptibles résidentielles – Chauffe-eau* d'Hydro-Québec, ainsi que des projets de contrôle de la charge de chauffe-eau résidentiels actifs hors du Québec.

3.3.1 HABITUDES DE CONSOMMATION D'EAU CHAUDE

L'hypothèse centrale de ce mémoire est que le contrôle de la séquence d'activation d'un chauffe-eau n'a pas d'impact sur la consommation d'eau chaude du ménage. Il est clairement mentionné dans l'introduction du questionnaire que les interruptions n'ont aucun impact sur le quotidien des participants. Cette hypothèse est fondée sur les résultats de recherches de l'Institut de recherche d'Hydro-Québec et, plus précisément, celles de Moreau (2011). À l'aide de modèles TRNSYS, expliqués dans la description du projet, il est possible de prévoir la température interne des différents niveaux du réservoir d'eau chaude pour programmer les deux éléments chauffants (Allard et al., 2011). En suivant cette stratégie de contrôle, Moreau prouve que **la température de l'eau dans un chauffe-eau peut être maintenue au-dessus de 55 °C 90 % du temps, et supérieure à 50 °C près de 100 % du temps**. Cet algorithme dictant la séquence d'activation des éléments chauffants a été utilisé dans le projet pilote d'Hydro-Québec. L'enquête de satisfaction (Hydro-Québec, 2015 b), suivant ce test, indique qu'aucun participant n'a ressenti d'inconfort relatif au délestage, renforçant l'hypothèse de travail.

La consommation d'eau chaude repose aussi sur le prix de l'électricité. Le projet ne doit donc pas affecter directement la facture. Il est pertinent d'examiner l'effet de retour de la demande (*pick-up demand*) des points de vue individuel et global. Au niveau individuel, les résultats des tests de Allard et al. (2011) illustrent que l'énergie totale consommée par le chauffe-eau est généralement inférieure en présence d'un contrôle approprié des interruptions. [Voir : Figure 10 en annexe] De plus, la réactivation du chauffe-eau suite à

une période d'interruption peut être programmée selon la température de l'eau (Moreau, 2011). L'élément chauffant se réactive plus rapidement lorsque la température de l'eau s'éloigne de 60 °C, minimisant les variations sur l'énergie totale consommée. Les variations sur la facture d'électricité sont considérées comme étant nulles, même si en pratique il est possible que des gains énergétiques soient réalisés.

Au niveau global, le retour de la demande est causé par une réactivation simultanée d'une multitude de chauffe-eau. Tel qu'illustré ci-dessous, l'effet de retour de la demande est ressenti seulement à partir de 650 000 ou 900 000 chauffe-eau contrôlés en étalant la réactivation sur une ou deux heures. Les visées actuelles pour le projet sont loin de ces seuils (l'installation de 100 000 charges était prévue pour l'hiver 2016-2017), l'effet de retour de la demande est donc jugé nul.

Figure 1 Réduction potentielle de la puissance électrique

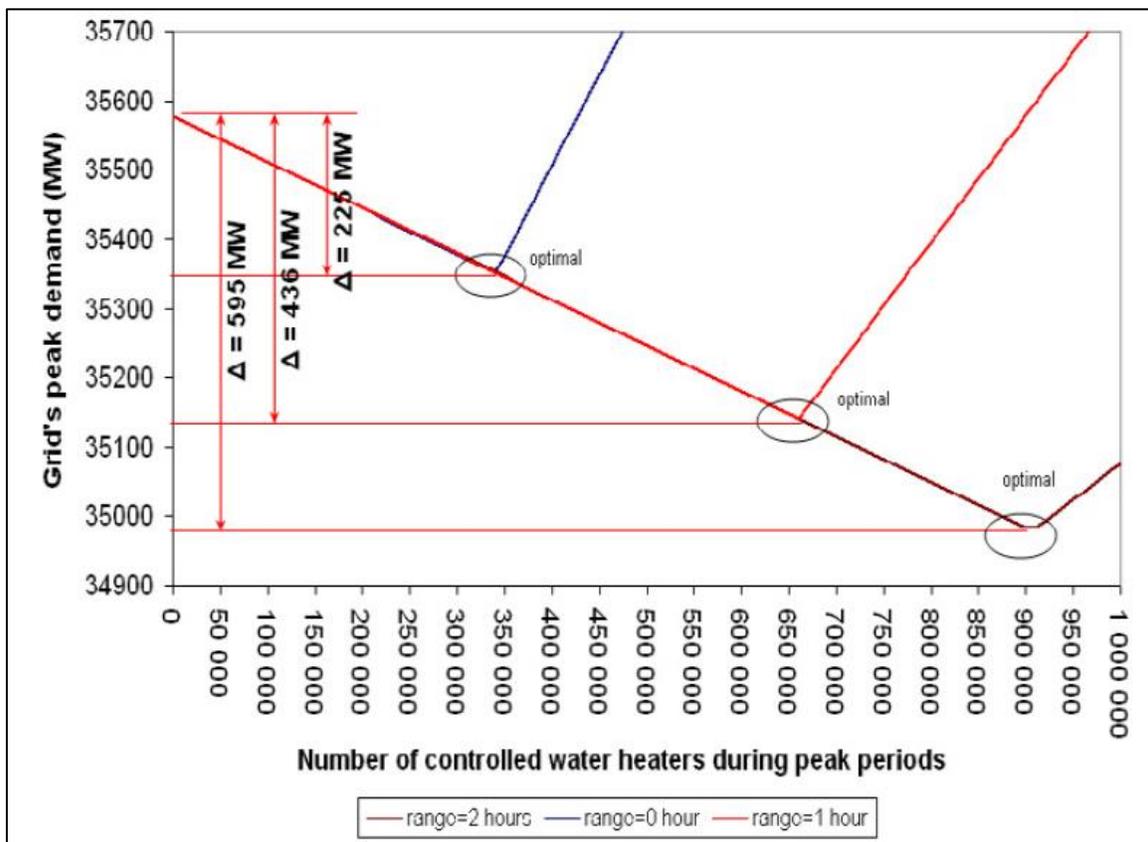


Fig. 9. Impact of the number of controlled water heaters on the grid's peak demand for three demand pick-up strategies. Source : Moreau (2011)

La figure 1 se lit comme suit : une réactivation des chauffe-eau étalée sur deux heures permet de dégager une marge en puissance potentiellement de 595 MW en contrôlant 900 000 chauffe-eau. Si plus de 900 000 appareils sont désactivés, alors l'effet de retour de la demande commencera à se faire ressentir et le gain en puissance potentiel diminuera graduellement.

3.3.2 QUALITÉ DE L'EAU

Une seconde hypothèse est que la technologie de déconnexion des chauffe-eau n'affecte pas la qualité de l'eau. Les inquiétudes portent sur la bactérie *Legionella*. Cette bactérie peut provoquer deux types de maladies chez l'humain : la légionellose, entraînant une pneumonie, et la fièvre de Pontiac, infection bénigne similaire à une grippe.

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), la bactérie prolifère dans l'eau stagnante et chaude, particulièrement entre 20 °C et 50 °C (Bartram, 2007). La bactérie devient inactive à partir de 50 °C. Les temps de décimation de la bactérie sont de : 80 – 111 minutes à 50 °C, 27 minutes à 54 °C et 2 minutes à 60 °C. La communauté scientifique sollicite un stockage de l'eau au-dessus de 60 °C et la délivrance d'eau chaude au-delà de 50 °C. L'OMS conseille aussi que l'intérieur du réservoir, incluant le bas, atteigne une température de 60 °C au moins une fois par jour.

L'objectif des contrôles des chauffe-eau, dont celui de Moreau (2011), est de fournir de l'eau au-dessus de 50 °C lors des périodes d'interruptions. Cela est effectué en conservant les réglages originaux du chauffe-eau, comme la température de stockage de l'eau à 60 °C. Le programme n'augmente pas les risques de prolifération de la bactérie.

Sans toutefois le documenter dans un document public, l'Institut national de santé publique du Québec semble avoir un avis différent sur ce sujet (Régie de l'énergie, 2017). Un débat sur cette question dépasse l'objectif de ce mémoire.

3.3.3 COÛTS PRIVÉS

Intrusion

L'intrusion ou le sentiment de perte de contrôle est une valeur clé de ce mémoire. Une certaine valeur de non-usage pourrait y être accordée. Les résultats de l'enquête de satisfaction des participants au projet pilote de charges interruptibles montrent que les agents accordent beaucoup d'importance aux options de contrôle (Hydro-Québec, 2015 b). C'est le cas des avertissements des interruptions, et ce, dans un contexte où le projet n'a pas d'impact sur l'utilisation du chauffe-eau (pas de valeur d'usage). Cette préférence pour des options de contrôle pourrait donc être attribuable au caractère d'intrusion (valeur de non-usage); la présence d'un contrôle externe réduirait l'utilité d'un agent. Pour appuyer cet argument, les résultats de cette même enquête indiquaient que l'inquiétude de manquer d'eau chaude s'atténuait à la suite de quelques interruptions. Pourtant, le désir d'une option de se retirer du projet demeurait très fort, illustrant le besoin de contrôle.

Installation

En se fiant aux conditions du projet pilote (Hydro-Québec, 2015 b), il n'est pas requis de changer son chauffe-eau et les frais d'installation sont payés par Hydro-Québec. La variable tangible considérée est le temps en présence de l'installateur. Il n'y a pas de travaux de plomberie complexe. L'installateur doit poser l'appareil de déconnexion muni d'un lecteur de température de l'eau. Le tout est exécuté entre 20 et 60 minutes.

Technologie

Les signaux de déconnexion sont transmis soit par le réseau maillé de l'infrastructure de mesurage avancé (compteur intelligent) ou par le réseau Internet privé du ménage. Les deux technologies de déconnexion ont été testées lors du projet pilote. Quelques problèmes mineurs ont été détectés avec le routeur ou le service Internet du participant. Cependant, aucun usager ne s'est aperçu de ces déficiences. Hydro-Québec (2015 b)

conclut que les deux technologies répondent aux critères de conformité. De plus, les conclusions de la société parapublique sur la résistance et la fiabilité de l'appareil permettent d'écarter les risques généraux d'utilisation. Il est posé comme hypothèse que la charge interruptible n'a aucun impact sur le fonctionnement du chauffe-eau ou sur des appareils y étant liés.

3.3.4 BÉNÉFICES PRIVÉS

Compensation financière

La compensation financière est le seul incitatif financier direct. Le but de l'étude est de déterminer le montant approprié. Comme signalée par Hydro-Québec (2015 b), la décision de participer au programme dépend fortement de l'aide financière accordée. La compensation est potentiellement influencée par la valorisation des trois variables suivantes : le temps d'installation, le caractère intrusif et la contribution à l'amélioration du réseau électrique québécois.

Il est souligné dans le questionnaire que la participation à des projets de gestion directe de la charge d'un électroménager à l'extérieur du Québec est récompensée financièrement. En effet, l'entièreté des programmes américains et canadiens, résumés dans l'Annexe E du document Efficacité énergétique d'Hydro-Québec (2016), offre une compensation de forme diverse (montant forfaitaire, baisse du prix de l'électricité, etc.).

Réduction de la probabilité de panne

Le contrôle de chauffe-eau permet d'améliorer la flexibilité du système électrique, c'est-à-dire la marge de manœuvre en matière de puissance lors de grands froids. Cette variable affecte le ménage en réduisant la probabilité de panne électrique. Il faudrait une étude complémentaire pour mesurer précisément son ampleur. Cet élément a été inclus puisqu'il en est question dans l'enquête du projet pilote. [Voir : Complément 5 dans l'annexe C]

Réduction de la probabilité d'une hausse future de la facture d'électricité

Participer au programme ne réduit pas directement la facture d'électricité du ménage. La consommation d'électricité totale provenant du chauffe-eau est la même, elle est seulement répartie différemment au cours de la journée. La réduction des coûts d'approvisionnement de l'énergie, décrite ci-dessous, réduit toutefois la probabilité d'une hausse des tarifs d'électricité, *ceteris paribus*.

3.3.5 BÉNÉFICES SOCIAUX

Amélioration du réseau électrique québécois

Les bénéfices sociaux, communiqués seulement dans l'une des deux versions du questionnaire, comprennent la réduction des coûts d'approvisionnement d'Hydro-Québec, ainsi que les gains financiers liés aux exportations vers les États-Unis. Il est important de mentionner que les valeurs quantitatives de ces bénéfices ne sont pas fournies au participant pour ne pas créer de biais d'ancrage, soit le fait d'influencer le consentement à recevoir par la mention d'une certaine valeur (section 3.2.2).

Dufresne (2016) estime que les coûts annuels évités à Hydro-Québec se chiffrent à 89,51 \$ par chauffe-eau, ce qui équivaut à 127,87 \$ par kilowatt (kW). La réduction de la charge à la pointe est de 0,7 kW par chauffe-eau (Hydro-Québec, 2015). Ces économies proviennent de la réduction des réserves de puissance pour la sécurité des réseaux, ainsi que de la minimisation des pertes électriques lors de la transmission et la distribution.

Les projections de Dufresne sur les revenus annuels additionnels d'Hydro-Québec sont de 9,95 \$ par chauffe-eau. Ils découlent de l'exportation d'électricité principalement dans l'État de New-York et dans la région de la Nouvelle-Angleterre aux États-Unis.

La diminution des coûts d'importation d'électricité en période de congestion, la diminution des coûts des services auxiliaires (entretien, planification des réserves, etc.), ainsi que les bénéfices liés à l'environnement n'ont pas été comptabilisés. Les effets de ces variables sont actuellement marginaux et difficilement estimables.

4. MODÈLE

4.1 MODÈLES CONSIDÉRÉS

Régression linéaire multiple

Une régression linéaire multiple a d'abord été considérée. Le consentement à recevoir annuel de chaque individu de l'échantillon pourrait être régressé sur les variables indépendantes choisies. Ces dernières sont définies dans la section 4.2.2 Variables explicatives. Les coefficients estimés se traduiraient comme suit : la variation d'une unité d'une variable explicative donnée fait varier la valeur prédite du consentement à recevoir de X \$, alors que toutes les autres variables explicatives sont fixes.

Le problème avec la régression linéaire est qu'elle estimerait un lien statistique constant entre la compensation désirée et chacune des variables explicatives. En réalité, cette relation est rarement linéaire. Par ailleurs, en projetant les résultats des consentements à recevoir, il a attendu d'observer un nombre considérable de valeurs nulles. Lorsque la variable dépendante est dite « limitée », il est question du concept de choix des agents ou de point de masse (Wooldridge, 2013, p.583). Cette problématique implique de la non-linéarité dans la distribution de la variable observée, ce qui est incohérent avec une régression linéaire.

De surcroît, la décision de l'agent ne consiste pas strictement à déterminer le montant de la compensation financière voulue. **Il s'agit d'abord d'un choix de participer avec ou sans compensation, puis d'un choix, conditionnel à sa volonté d'être compensé, sur le montant désiré.** Les deux décisions binaires créent d'autres formes de non-linéarités dans la fonction objective, une régression linéaire n'est donc pas appropriée.

tobit

L'un des modèles valables, compte tenu des non-linéarités, est le modèle *tobit*. Ce modèle analyse, d'abord, la décision binaire de participer au projet avec ou sans compensation financière à l'aide d'un modèle *probit*. Ensuite, la distribution des consentements à recevoir, conditionnelle au désir de participer avec compensation, est

évaluée comme dans modèle linéaire en maximisant la fonction de vraisemblance (McDonald et Moffitt, 1980).

En plus des non-linéarités, il est essentiel de considérer la nature des réponses nulles, qui soulève des problèmes dans l'utilisation du modèle *tobit*. Une personne qui participerait au projet sans compensation financière serait associée à un consentement à recevoir de « 0 ». Un individu qui ne veut pas participer au projet est aussi étiqueté par un consentement à recevoir nul. Pour un même résultat, la motivation derrière celui-ci est ainsi fondamentalement différente. Afin de modéliser les particularités du processus non linéaire et de la nature des consentements à recevoir nuls, un modèle *logit* multinomial est plus approprié.

4.2 MODÈLE SÉLECTIONNÉ — LOGIT MULTINOMIAL

Un *logit* multinomial permet d'identifier des liens statistiques entre les variables explicatives et la probabilité relative d'observer un choix plutôt qu'un autre. Trois alternatives, désignées comme des choix de participation, sont identifiées : *volontaire*, *non-intéressé* et *compensé*. Ces trois réalisations de la variable dépendante sont définies ci-dessous. Les réponses au questionnaire permettant d'associer chaque répondant à un choix unique sont précisées dans la sous-section 5.1 Choix de participation.

- *volontaire* (1) : Les volontaires participeraient au projet sans compensation financière et le fait que d'autres projets similaires soient récompensés financièrement ne change pas leur position.
- *non-intéressé* (2) : Les non-intéressés ne participeraient pas au projet. Ce choix comprend les individus témoignant d'incertitude envers toutes les questions liées à la participation. Ces derniers sont considérés comme n'étant pas intéressés par le projet, et ce, indépendamment de la compensation financière.
- *compensé* (3) : Le choix *compensé* représente les individus intéressés à participer au projet à la condition qu'un incitatif financier leur soit versé. Cette réponse inclut les gens intéressés à participer avec compensation, mais indécis sur le montant de la compensation désirée.

4.2.1 HYPOTHÈSES

Le modèle *logit* multinomial peut s'écrire sous la forme de variable latente :

Équation 1 Formulation par variable latente d'un modèle *logit* multinomial

$$y_{ij}^* = \beta_i X_i + a_{ij}$$

y_{ij}^* : Alternative observée j choisie par l'individu i, qui dépend ses propres caractéristiques observables (X_i) et d'un terme d'erreur (a_{ij}) des facteurs non observables affectant ses préférences pour le choix j.

L'agent choisit l'alternative lui procurant le plus d'utilité :

Équation 2 Fonction d'utilité

$$y_i = \max (y_{i1}^*, y_{i2}^*, y_{i3}^*)$$

Quatre hypothèses doivent être respectées pour utiliser le *logit* :

- 1) L'hypothèse d'indépendance des alternatives non pertinentes implique que la probabilité de choisir une alternative plutôt qu'une autre est indépendante de l'inclusion d'une alternative initialement non incluse (Luce, 1959). Cette condition n'est pas problématique lorsque les choix inclus dans la régression représentent toutes les options possibles. Il est valable de croire que les trois alternatives du présent modèle sont exhaustives, soit que présenter le programme de débranchement mène strictement à l'un des trois états suivants : le désir de participer bénévolement (*volontaire*), le désir de participer avec une compensation financière (*compensé*), ou la volonté de ne pas participer (*non-intéressé*).
- 2) Les termes d'erreurs de la fonction d'utilité sont indépendamment et identiquement distribués. Autrement dit, les différences entre les choix prédits par le modèle et les choix réalisés sont aléatoires ; ces bruits blancs ne contiennent aucune information (Luce, 1959).
- 3) Ces mêmes termes d'erreurs suivent une distribution de valeurs extrêmes (*extreme-value distribution*), telle que montrée dans l'équation 3 (McFadden, 1973). Cette hypothèse alloue de la non-linéarité dans la distribution des variables observées (choix de participation), comme le point de masse à « 0 ».

Équation 3 Distribution des termes d'erreurs

$$f(a_{ij}) = e^{-e^{-a_{ij}}}$$

- 4) La valeur de chaque alternative est unique. Pour l'option *compensé*, un consentement à recevoir de 150 \$ a la même signification que l'un de 5 \$. **Cette méthode ne permet donc pas d'estimer les liens statistiques entre les valeurs des consentements à recevoir et les variables explicatives**, comme dans les modèles linéaires ou *tobit*.

4.2.2 VARIABLES EXPLICATIVES

Ci-dessous, une liste de variables explicatives est fournie préliminairement à l'analyse des résultats, afin de comprendre les manipulations du modèle *logit* effectuées dans la sous-section suivante. Les variables indépendantes sont regroupées en six types : options d'implantation (*averti*, *refus* et *quitter*), sensibilité aux implications du projet (*installation*, *intrusion* et *cint*), sensibilité aux bénéfices (*panne*, *facture* et *social*), caractéristiques sociodémographiques (*i.region*, *femme*, *français*, *i.age*, *i.revenu*, *i.scol*, *asso* et *taille*), critères techniques (*proprio*, *paiement*, *capacité*, et *type_ce*), et biais (*entrevue* et *version*).

Tableau 8 Variables explicatives

Variables	Choix	Définition
Options d'implantation		
<i>averti</i>	= 1 si : - Oui - Oui, pour une période d'adaptation ----- = 0 si : - Non - Indifférent	Désir d'une option d'être averti des périodes interruptions.
<i>refus</i>	= 1 si : - Oui - Oui, pour une période d'adaptation ----- = 0 si : - Non - Indifférent	Désir d'une option de refus ponctuelle des interruptions.
<i>quitter</i>	= 1 si : Oui ----- = 0 si : - Non - Indifférent	Désir d'une option de pouvoir quitter le programme en tout temps.
Sensibilité aux implications du projet		
<i>installation</i>	= 1 si : Oui ----- = 0 si : - Non - Incertain	Considérer le temps en attente et en présence du technicien d'installation comme étant inconfortant.
<i>intrusion</i>	= 1 si : - Oui - Incertain ----- = 0 si : Non	Percevoir le contrôle à distance de son chauffe-eau comme une intrusion dans sa vie privée.

<i>cint</i>	= 1 si : Non = 0 si : - Oui - Incertain	Répondre « non » signifie que le répondant a refusé l'installation d'un compteur intelligent.
Sensibilité aux bénéfices		
<i>panne</i>	= 1 si : - Très important - Important = 0 si : - Peu important - Indifférent	Accorder de l'importance à la réduction de la probabilité de pannes électriques à son domicile.
<i>facture</i>	= 1 si : - Très important - Important = 0 si : - Peu important - Indifférent	Accorder de l'importance à la réduction de la probabilité d'une hausse future de sa facture d'électricité.
<i>social</i>	= 1 si : - Très important - Important = 0 si : - Peu important - Indifférent	Accorder de l'importance à l'amélioration du réseau électrique québécois. La variable <i>social</i> est incluse seulement dans la version 2 du questionnaire.
Caractéristiques sociodémographiques		
<i>i.region</i>		Le lieu de résidence, soit la région administrative de Montréal, celle de Laval ou l'une des 15 autres au Québec.
	(= 0) Montréal	
	(= 1) Laval	
	(= 2) Autre	
<i>femme</i>	= 1 si : Oui = 0 si : Non	Être une femme.
<i>français</i>	= 1 si : Oui = 0 si : Autre	Être francophone à la naissance.
<i>i.age</i>		Tranche d'âge.
	(= 0) 18 à 24 ans	
	(= 1) 25 à 39 ans	
	(= 2) 40 à 54 ans	
	(= 3) 55 à 64 ans	
	(= 4) 65 ans et plus	
<i>i.revenu</i>		Tranche de revenu annuel avant impôt du ménage.
	(= 0) Moins de 25 000 \$	
	(= 1) 25 000 à 49 999 \$	
	(= 2) 50 000 à 69 999 \$	
	(= 3) 70 000 à 99 999 \$	
	(= 4) Plus de 99 999 \$	
	(= 5) Sans réponse	
<i>i.scol</i>		Niveau d'études complété comprenant un certificat ou un diplôme pour chaque niveau respectif.
	(= 0) Aucun diplôme	
	(= 1) Secondaire	

	(= 2)	Collégial	
	(= 3)	Premier cycle	
	(= 4)	Cycles supérieurs	
<i>asso</i>	= 1 si :	Oui	Membre d'une association ayant des visées sociales ou environnementales.
	= 0 si :	- Non - Incertain	
<i>taille</i>	= 1 si :	> 1	Vivre dans un ménage à plusieurs membres.
	= 0 si :	= 1	
Critères techniques			
<i>proprio</i>	= 1 si :	Oui - Copropriétaire	Être propriétaire ou copropriétaire de son lieu de résidence.
	= 0 si :	- Locataire - Habite chez parents	
<i>paiement</i>	= 1 si :	Oui	Contribuer à payer la facture d'électricité de son ménage.
	= 0 si :	Non	
<i>type_ce</i>	= 1 si :	Électrique	Détenir un chauffe-eau électrique.
	= 0 sinon		
<i>capacité</i>	= 1 si :	180 l	Détenir un chauffe-eau de 180 litres de capacité.
	= 0 sinon		
Biais			
<i>version</i>	= 1 si :	Version 2	Avoir répondu au questionnaire décrivant les bénéfices sociaux (Version 2).
	= 0 si :	Version 1	
<i>entrevue</i>	= 1 si :	Porte-à-porte	Avoir répondu au questionnaire en présence du sondeur (porte-à-porte).
	= 0 si :		
		- Courriel direct	
		- Courriel indirect - Chaire	

4.2.3 CHOIX DE LA SPÉCIFICATION DU MODÈLE

Rappel :

- Échantillon 1 : 67 résidents de la Ville de Montréal, sondés en personne ;
- Échantillon 2 : 51 résidents de la Ville de Laval, sondés en personne ;
- Échantillon 3 : Groupe mixte de 151 répondants, dont 101 Montréalais, sondés par message électronique.

Deux modèles, *complet* et *PAP*, ont été formés à l'aide des trois échantillons.

Le modèle *complet* regroupe les trois échantillons. De manière générale, un nombre d'observations élevé favorise la significativité des coefficients estimés en réduisant la variance. Dans ce mémoire, la collecte de données, effectuée selon deux approches, a abouti à un nombre considérable d'observations (269). Ainsi, l'étendue de la collecte de données a permis d'inclure plusieurs variables dans le modèle.

Le modèle *PAP* comprend seulement les individus sondés en porte-à-porte (échantillons 1 et 2, totalisant 118 réponses). Bien que le nombre d'observations soit réduit, certaines variables sont significatives. Elles servent à étoffer les conclusions qui découlent des résultats du modèle *complet*.

Ci-dessous sont décrites les étapes qui ont mené au choix de la spécification définitive, soit la troisième. Les implications du retrait de certaines variables sont précisées dans l'analyse des résultats.

A) 1^{re} spécification

Équation 4 Modèle *complet* – version 1

*mlogit part averti refus quitter installation intrusion cint panne facture asso femme
français i.region i.scol i.age i.revenu taille proprio paiement capacité type_ce entrevue
version*

La première spécification des modèles *complet* et *PAP* incluait toutes les variables. Il y a 22 variables explicatives, dont quatre polytomiques (dénotées par le préfixe *i.*). Le nombre de coefficients à estimer s'élève ainsi à 33 par alternative en plus d'une constante. Puisqu'une alternative est comparée à une autre, il y a 66 coefficients à estimer lors d'une régression. Pour éviter des problèmes d'identification, comme un nombre d'estimateurs supérieur au nombre d'observations par alternative, plusieurs variables ont été supprimées. Les coefficients non significatifs suivants ont été retirés en priorité : *refus*, *i.region*, *taille*, *proprio*, *paiement*, *capacité*, *type_ce* et *version*.

Équation 5 Modèle *PAP* – version 1

*mlogit part averti refus quitter installation intrusion cint panne facture asso femme
français i.region i.scol i.age i.revenu taille proprio paiement capacité type_ce version*

Pour les mêmes raisons que celles du modèle *complet – version 1*, les variables non significatives suivantes ont été retirées : *averti*, *quitter*, *femme*, *i.region*, *i.age*, *taille*, *proprio*, *paiement*, *capacité*, *type_ce* et *version*.

B) 2^e spécification

Équation 6 Modèle *complet – version 2*

mlogit part averti quitter installation intrusion cint panne facture asso femme francais i.scol i.age i.revenu entrevue

La seconde construction testée (*version 2*) se composait des variables significatives seulement. Par souci de parcimonie, les variables ici-mentionnées ont été retirées du deuxième modèle : *quitter*, *asso*, *femme* et *i.revenu*. Davantage d'explications sur ces décisions sont fournies lorsque les variables seront décrites individuellement dans l'analyse des résultats.

Équation 7 Modèle *PAP – version 2*

mlogit part refus instal intru cint panne facture asso francais i.scol i.revenu

Les variables significatives qui ont dû être supprimées de la deuxième régression sont les suivantes : *refus*, *facture*, *asso*, *français* et *i.scol*. Le modèle *PAP* compte relativement peu d'observations (118), il fallait donc réduire le nombre de variables.

C) 3^e spécification

Cette version définitive des deux modèles est celle offrant la meilleure spécification, c'est-à-dire qu'elle possède un fort pouvoir explicatif sans être trop complexe. Plusieurs tests, dont les tests de corrélation et de significativité présentés dans les deux prochaines sous-sections, permettent d'affirmer que ce choix de variables est juste et efficace afin d'expliquer les choix de participation de la population.

Équation 8 Modèle complet

mlogit part averti instal intru cint panne facture francais ib3.scol ib3.age entrevue, rrr base(1)

Équation 9 Modèle PAP

mlogit part instal intru cint panne i.revenu, rrr base(1)

- L'option *base* indique le scénario de référence. L'alternative *volontaire* a été choisie de façon arbitraire comme celle de référence.
- L'option *rrr* propose des résultats exprimés en ratio de risque relatif. Ce concept sera expliqué prochainement.
- Le préfixe *i*. caractérise une variable polytomique, c'est-à-dire qu'elle représente plus de deux valeurs.
- Le chiffre suivant le préfixe *b* représente le niveau de référence de la variable, par exemple, *ib3.age* renvoie à la tranche d'âge 55 à 64 ans.

L'écriture des modèles *complet* et *PAP* sous la forme formelle du *logit* est la suivante :

Équation 10 Forme formelle des modèles complet et PAP

$$Prob(y_i = j | X_i) = \frac{e^{(X_i B_j)}}{\sum_{h=1}^3 e^{(X_i B_h)}}$$

$$\forall j = 1, 2 \text{ ou } 3$$

- y_{ij} : L'alternative *j* choisie par l'individu *i*
- *h* : Alternative différente de *j* (donc $j \neq h$)
- X_i (*complet*): *averti, instal, intru, cint, panne, facture, français, i.scol, i.age* et *entrevue*
- X_i (*PAP*): *instal, intru, cint, panne* et *i.revenu*

4.3.4 TESTS DE CORRÉLATION

Les corrélations entre les variables explicatives sont faibles. Toutes les paires de variables ont été testées. Celles d'entre elles qui excèdent un niveau de corrélation de 15 % sont les suivantes :

Modèle *complet*

- Le fait de considérer le contrôle à distance de la séquence d'activation de son chauffe-eau comme une intrusion dans sa vie privée (*intrusion*) est corrélé à 20 % avec le fait d'être incommodé par l'installation de la charge interruptible (*installation*).
- Accorder de l'importance à la réduction de la probabilité de panne électrique à son domicile (*panne*) et à la réduction de sa facture (*facture*) est corrélé à 29 %.
- Être francophone (*français*) est corrélé à 16 % au fait de considérer important de réduire sa facture d'électricité à travers le projet (*facture*).
- Le niveau d'éducation (*i.scol*) diminue légèrement lorsque l'âge (*i.age*) augmente (corrélation négative de 16 %), indiquant que les générations plus jeunes sont davantage scolarisées.
- La majorité des répondants qui ont reçu une invitation par courriel était francophone (corrélation négative de 26 % entre *français* et *entrevue*), soulevant le problème de représentativité découlant de la méthode d'échantillonnage de commodité.
- Une grande proportion (45 %) des répondants qui ont reçu une invitation par courriel était âgée de 18 à 24 ans, ce qui entraîne en une corrélation de 39 % entre *i.age* et *entrevue*.

Modèle *PAP*

- Le fait de considérer le contrôle à distance de la séquence d'activation de son chauffe-eau comme une intrusion dans sa vie privée (*intrusion*) est corrélé à 21 % avec le fait d'être incommodé par l'installation de la charge interruptible (*installation*).
- Avoir refusé l'installation d'un compteur intelligent (*cint*) est corrélé à 19 % avec l'importance accordée à la réduction de la probabilité de panne électrique (*panne*).

4.3.5 TESTS DE SIGNIFICATIVITÉ

La démarche suivante sert à vérifier la significativité de la différence des coefficients estimés entre les modèles. Lorsque la probabilité d'observer l'un des choix est faible, il est risqué d'utiliser la statistique « z » qui se base sur une estimation de la matrice de variance-covariance des estimateurs. Un test de significativité par ratio de vraisemblance est mieux adapté. Ce test tient compte des non-linéarités de la distribution. Il permet aussi de contrer certains problèmes de spécification liés, en partie, au faible nombre d'observations. Le test s'effectue sur le (s) modèle (s) contraint (s) où les variables explicatives sont fixées à zéro (sauf la constante).

Tableau 9 Tests de significativité sur le modèle *complet*

Modèles testés	Modèle (s) contraint (s)	RV chi-carré	Valeur p
<i>volontaire et non-intéressé</i>	<i>non-intéressé</i>	78,32	0,000
<i>volontaire et compensé</i>	<i>compensé</i>	58,10	0,000
<i>non-intéressé et compensé</i>	<i>non-intéressé et compensé</i>	117,02	0,000

Tableau 10 Tests de significativité sur le modèle *PAP*

Modèles testés	Modèle (s) contraint (s)	RV chi-carré	Valeur p
<i>volontaire et non-intéressé</i>	<i>non-intéressé</i>	34,15	0,000
<i>volontaire et compensé</i>	<i>compensé</i>	26,44	0,002
<i>non-intéressé et compensé</i>	<i>non-intéressé et compensé</i>	48,73	0,000

Les tableaux 9 et 10 expriment les résultats des tests de significativité par ratio de vraisemblance (RV) et de la valeur « p » y étant associée. Puisque toutes les valeurs « p » sont inférieures au seuil de confiance critique (5 %), l'hypothèse nulle est rejetée pour les trois tests ; il y a une différence significative entre les coefficients des modèles testés. En d'autres mots, les mêmes variables explicatives n'ont pas le même lien statistique sur les trois différents choix de participation, et ce, pour les modèles *complet* et *PAP*.

4.3.6 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Il y a trois techniques pour présenter et interpréter les résultats d'un modèle *logit*. Afin de comprendre la signification de chacune d'entre elles, la variable *averti* et l'alternative

compensé sont prises à titre d'exemple. En guise de rappel, la variable *averti* implique que le participant a évoqué son désir d'être averti des périodes de contrôle de la charge.

La première technique est le **ratio de probabilité**, se définissant comme suit : la probabilité relative d'observer *compensé* plutôt que *volontaire* considérant le fait que l'individu désire être averti des interruptions est 79 % plus faible que la probabilité d'observer *compensé* plutôt que *volontaire* lorsque l'individu ne veut pas être averti. Puisque la compréhension du ratio de probabilité est peu intuitive, les résultats de cette technique ne seront pas présentés.

La deuxième méthode — la plus commune — de présentation des données est le **ratio de risque relatif** (RRR) qui se traduit ainsi : lorsque l'individu désire être averti, il est environ deux fois moins probable d'observer *compensé* que *volontaire* (RRR de 0,45). Algébriquement, le ratio de risque relatif s'écrit de la manière suivante :

Équation 11 Ratio de risque relatif

$$\frac{Prob(y_i = j|X_i)}{Prob(y_i = h|X_i)} = e^{-X_i(B_j - B_h)}$$

Sachant les caractéristiques observables X_i , telles que le désir d'être averti, pour l'individu i , le résultat obtenu est le risque relatif de choisir l'alternative j (*compensé*) plutôt que l'alternative de référence h (*volontaire*).

Le troisième indicateur est l'**effet partiel moyen** (EPM) qui exprime la réaction moyenne d'un individu. Lorsque la personne accorde de l'importance au fait d'être avertie des délestages relativement au fait de ne pas y accorder d'importance, la probabilité d'observer *compensé* diminue de 14 % en moyenne.

Formellement, l'effet partiel moyen se définit ainsi :

Équation 12 Effet partiel moyen

$$\frac{dProb(y_i = j|X_i)}{dx_{ik}} = Prob(y_i = j|X_i)(B_{jk} - \sum_{h=1}^J \frac{e^{(X_i, B_h)}}{1 + \sum_{h=1}^J e^{(X_i, B_h)}}$$

x_{ik} : Une caractéristique de l'individu i faisant partie de l'ensemble des variables explicatives ($X_i = x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iK}$), soit la variable *averti* dans ce cas-ci.

5. ANALYSE DES RÉSULTATS

5.1 CHOIX DE PARTICIPATION

Chaque individu de l'échantillon a été associé à l'un des trois choix de participation (*volontaire*, *compensé* ou *non-intéressé*) en fonction de ses réponses au questionnaire. Lorsqu'Hydro-Québec lancera son projet de *Charges interruptibles résidentielles – Chauffe-eau*, voici comment la population de Montréal et de ses environs devrait réagir :

Échantillon complet

- *volontaire* : 52 % devraient se porter volontaires. Cette population accepterait bénévolement le contrôle de la charge du chauffe-eau si les conditions suivantes sont respectées : être averti et pouvoir refuser les périodes d'interruption du chauffe-eau; être en mesure de quitter le programme sans frais en tout temps; et bénéficier de l'installation de l'appareil de déconnexion (d'une durée approximative de 30 minutes) gratuitement.
- *compensé* : En offrant un incitatif financier tout en respectant les conditions susmentionnées, 41 % de la population désireraient participer au projet, en plus de ceux se portant volontaire. Les compensations financières désirées sont détaillées dans la section suivante.
- *non-intéressé* : Sous les mêmes conditions bonifiées d'une récompense à la participation, 7 % de la population étudiée ne participeraient pas. Le risque de manque d'eau chaude (3 %) ¹², la crainte des ondes électromagnétiques (2 %) et la participation forcée (1 %), sont des dissuasifs à la participation qui ont été soulevés par des commentaires écrits ou verbaux ¹³.

¹² Le pourcentage entre parenthèses illustre la proportion de sondés sur les 269 observations qui a mentionné le dissuasif à la participation en question.

¹³ Une liste exhaustive des commentaires est fournie dans la section 5.3.

Échantillon porte-à-porte

La partie de l'échantillon approchée en porte-à-porte montre des résultats similaires à l'échantillon complet :

- *volontaire* : 42 % de la population de Montréal et de ses environs désirent participer bénévolement au projet, sous les mêmes conditions que celles susmentionnées.
- *compensé* : 47 % désireraient participer au projet à la condition d'être compensés financièrement.
- *non-intéressé* : 11 % ne souhaiteraient pas s'inscrire dans le programme de contrôle de la charge.

Pour associer chaque répondant à un choix unique, les quatre questions suivantes ont été utilisées :

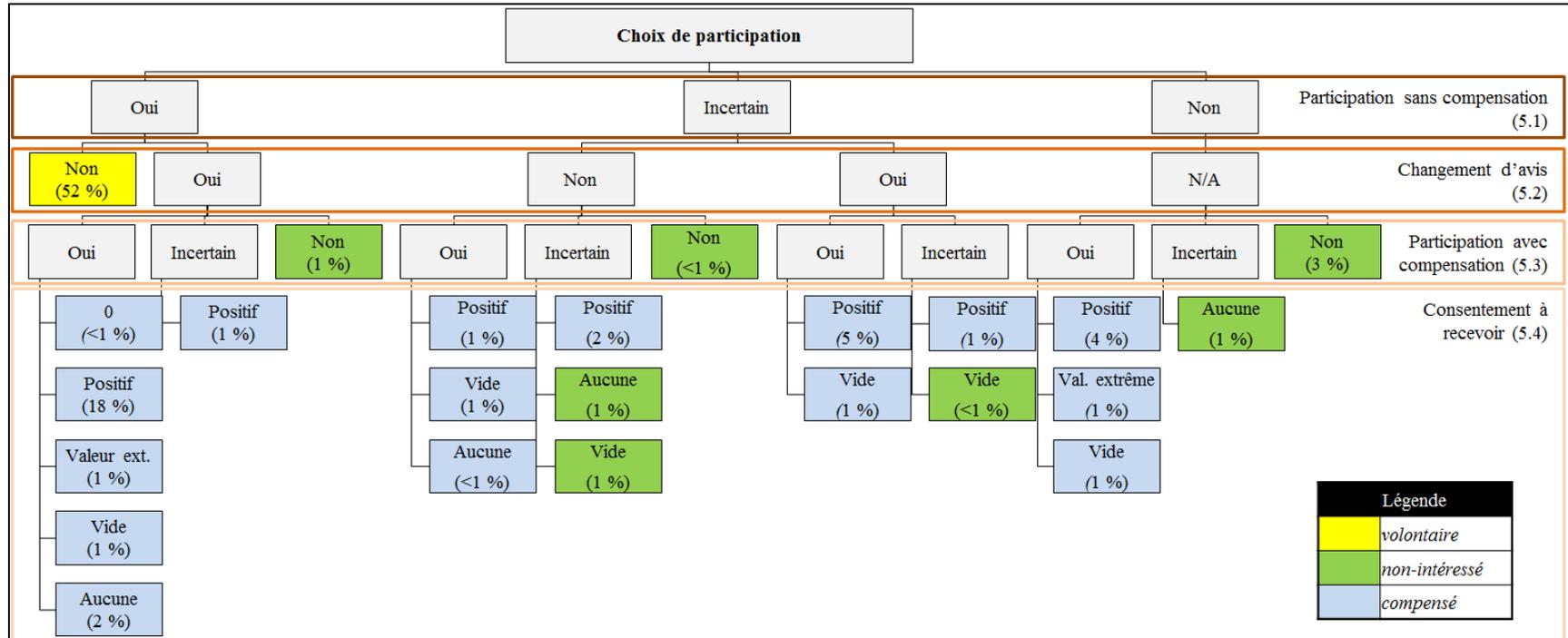
- Participation sans compensation (5.1) : Les répondants sont d'abord questionnés sur leur volonté de participer au projet sans compensation financière. Ceux qui répondent oui ou incertain passent à la question 5.2, alors que ceux répondant non passent à la question 5.3.
- Changement d'avis (5.2) : Les sondés qui participeraient au projet sans compensation ou qui sont incertains à la question 5.1 sont ensuite informés que des projets similaires sont implantés dans d'autres pays et qu'un incitatif financier est généralement offert. Ils peuvent répondre que cette information change ou ne change pas leur avis par rapport à la participation au projet. Ces deux premières questions permettent d'identifier les volontaires ; les deux questions suivantes ne leur seront pas posées.

Un fait intéressant à noter est que **25 % des répondants qui se portaient volontaires ont changé d'avis en étant avisés de cette information**. Un autre 7 % d'individus étaient indécis et ont répondu que cette mention changeait (ou concrétisait) leur position.

- Participation avec compensation (5.3) : À l'exception des volontaires, une deuxième mise en situation est exposée au lecteur. Cette fois, la participation au projet est redevable financièrement. Les réponses possibles sont : oui, non ou incertain. Une personne qui répond non aux questions 5.1 et 5.2 est considérée comme n'étant pas intéressée à participer au projet.
- Consentement à recevoir (5.4) : Si le questionné désire participer au projet avec compensation ou qu'il est indécis à la question 5.3, il sera confronté à deux choix de réponses. L'un de ces choix est d'indiquer le montant minimal annuel qu'il accepterait pour participer au projet, menant aux réponses suivantes : 0, positif, valeur extrême (plus de 500 \$), vide.
L'autre choix du sondé est de cocher qu'il participerait au projet sans compensation (aucune), ce qui est un indicatif d'indécision envers le projet. Cette dernière question permet d'identifier les compensés et certains indécis qui seront classés comme n'étant pas intéressés.

La figure 2 à la page suivante offre des précisions sur les taux de réponse pour l'échantillon complet. La dégradation en quatre tons de couleur sert à associer les réponses à l'une des quatre questions, tel qu'illustré dans la légende de la figure.

Figure 2 Classement détaillé des sondés selon leurs réponses au questionnaire



5.2 CONSENTEMENT À RECEVOIR

Les consentements à recevoir (CAR) proviennent uniquement des données brutes du questionnaire. Il n'y a aucune manipulation économétrique ; les CAR sont présentés de façon agrégée pour l'échantillon complet. Les valeurs extrêmes (supérieures à 500 \$), observées à quatre reprises, ont été supprimées des calculs des CAR moyens. Les valeurs accordées à l'intrusion et aux bénéfices sociaux, ainsi qu'aux autres éléments ayant un impact sur les CAR (ex. : biais d'entrevue) sont dépeintes dans la prochaine section.

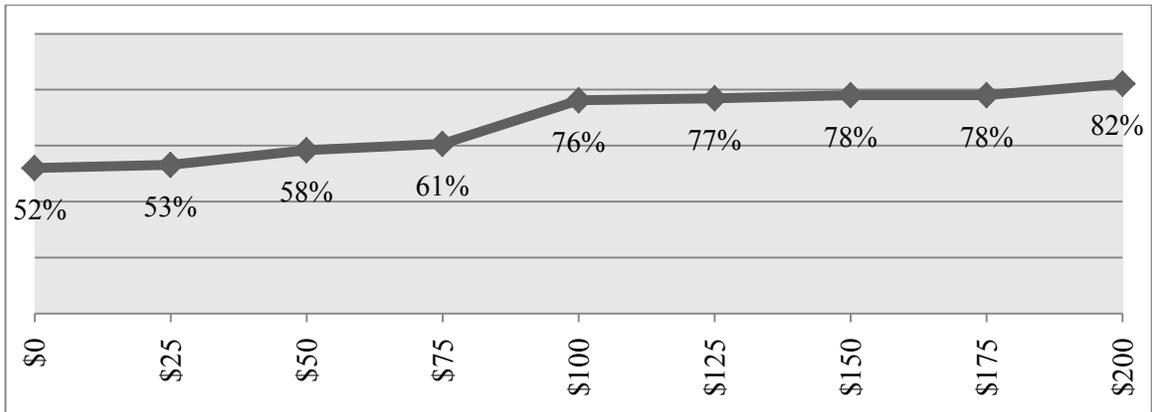
En premier lieu, 35 % des répondants au questionnaire ont relevé leur consentement à recevoir. Il en résulte un CAR annuel moyen de 140 \$. Quelques individus ont communiqué leur désir d'être compensés, mais ils n'ont rien écrit dans la case destinée au montant voulu. Dans la section précédente, il était indiqué que 41 % des sondés sont classés dans le groupe *compensé*. Cette proportion de sondés voulant être compensés sera donc utilisée pour extrapoler les résultats. Ainsi, il est considéré que 41 % des individus de l'échantillon désirent une compensation financière moyenne de 140 \$, afin de participer au projet. En deuxième lieu, il est impératif d'ajouter les CAR de valeur nulle associés à l'autre moitié des individus (52 %) qui se porteraient bénévoles pour le projet.

En considérant le groupe des compensés (CAR moyen de 140 \$) et le groupe des volontaires (CAR nuls), il est conclu qu'une compensation financière annuelle moyenne de 54 \$ inciterait la population de Montréal et ses environs à participer au projet de contrôle de la séquence d'activation des éléments chauffants de leur chauffe-eau.

La figure 3 illustre, de manière plus précise, les préférences des participants potentiels quant à la compensation financière. La distribution des CAR désirés est exprimée en pourcentage cumulé par rapport au nombre total d'observations (269). Comme soulevés précédemment, certains sondés n'ont pas inscrit de montant à la question 5.4 concernant le CAR. Ainsi, les pourcentages de la distribution cumulée (représentant les taux de participation en fonction des niveaux de CAR) tendent à être légèrement sous-estimés.

Il est montré que **61 % des individus accepteraient le contrôle de leur chauffe-eau, s'ils se voyaient offrir 75 \$ ou moins par année**. Si la compensation financière annuelle atteignait 100 \$, le projet serait accepté par une forte majorité (76 %).

Figure 3 Distribution cumulée des consentements à recevoir



Mise en perspective des compensations financières

Il est possible de comparer les valeurs des CAR collectés dans ce mémoire aux compensations financières envisagées par Hydro-Québec, ainsi qu’aux incitatifs versés aux participants de programmes semblables actifs à l’extérieur du Québec.

Le tableau 11 compare les résultats du mémoire à ceux de l’enquête qui a suivi le projet pilote de déconnexion des chauffe-eau mené auprès de 400 employés d’Hydro-Québec. Les participants à ce projet pilote devaient indiquer leur volonté à s’enrôler dans un projet similaire d’échelle nationale, selon différents montants offerts.

Tableau 11 Sensibilité à l’incitatif financier – Projet pilote versus mémoire

Taux de participation selon la compensation	25 \$	50 \$	75 \$
Projet pilote d’Hydro-Québec	73 %	82 %	88 %
Mémoire	53 %	58 %	61 %

Source : Hydro-Québec (2016) et collecte de données de l’auteur du mémoire

Les participants au projet pilote semblent être plus sensibles aux compensations financières de 25 à 75 \$ que les participants de cette étude. Pour un montant de 75 \$, les résultats du sondage du fournisseur d’électricité indiquent que 88 % de leur échantillon s’enrôleraient dans un projet national de déconnexion de chauffe-eau, alors que ce mémoire estime que seulement 61 % des individus y seraient intéressés. En plus d’être inférieurs en niveau, les taux de participation estimés dans l’enquête d’Hydro-Québec augmentent plus rapidement (de 73 à 88 % versus 53 à 61 %) en offrant de 25 à 75 \$.

Trois raisons pourraient expliquer la réceptivité accrue aux compensations financières de moins de 75 \$ des sondés du projet pilote par rapport aux sondés de ce mémoire :

- 1- L'expérience est conduite auprès d'employés d'Hydro-Québec. Ces individus sont potentiellement moins enclins à valoriser les compensations financières en raison de la nature de leur emploi qui les sensibilise aux enjeux énergétiques. En d'autres mots, il est plus facile de les convaincre de participer avec des sommes modiques (moins de 75 \$).
- 2- En plus d'un échantillon n'étant pas représentatif de la population, l'enquête d'Hydro-Québec limite les réponses à trois valeurs (25, 50 et 75 \$). En éliminant la possibilité d'indiquer son désir de participer bénévolement et en restreignant le choix des compensations, le format de la question crée un biais d'ancrage. Tel que soulevé dans la méthodologie, ce mémoire utilise une question à réponse ouverte pour éviter d'influencer les réponses au questionnaire.
- 3- Il est aussi possible que les différences entre les deux enquêtes proviennent du fait qu'en participant au projet pilote les sujets se sont habitués à l'intrusion. L'analyse économétrique, qui suit ce chapitre, démontre que le caractère intrusif a des effets sur la décision de participer, ainsi que sur le montant des compensations financières exigées. La sensibilité aux compensations financières est donc susceptible de changer lors de l'essai de la technologie de déconnexion.

Ailleurs au Canada et aux États-Unis, plusieurs projets de contrôle de la charge de chauffe-eau et d'autres électroménagers sont proposés par les fournisseurs d'électricité. Hydro-Québec (2016), dans une revue de ce type d'intervention, balise les compensations financières entre 18 et 120 \$ par année, ce qui couvre une majorité de la distribution des consentements à recevoir collectés dans ce mémoire. Un crédit à l'installation de la charge interruptible est aussi offert par les distributeurs d'électricité.

5.3 RÉSULTATS

Structure de l'analyse

Avant de décrire les résultats, il est important de comprendre la structure de l'analyse, qui est divisée selon les six types de variables indépendantes :

- 1- Options d'implantation (*averti, refus et quitter*)
- 2- Sensibilité aux implications du projet (*installation, intrusion et cint*)
- 3- Sensibilité aux bénéfices (*panne, facture et social*)
- 4- Caractéristiques sociodémographiques (*i.region, femme, français, i.age, i.revenu, i.scol, asso et taille*)
- 5- Critères techniques (*proprio, paiement, capacité, et type_ce*)
- 6- Biais (*entrevue et version*)

Afin de comprendre précisément le lien statistique de chaque variable avec les choix de participation, elles sont examinées sous trois angles :

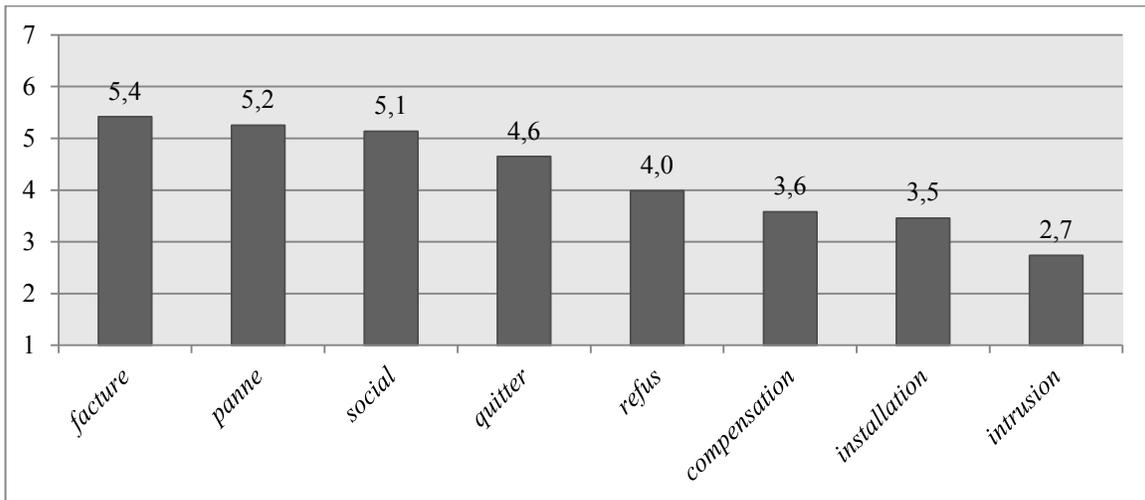
- Analyse descriptive :
 - Réponses au questionnaire dépeintes sous forme agrégée en tableau
 - Cotes d'importance dans le choix de participer au projet (échelle de 1 à 7)
 - Effets de certaines variables sur le consentement à recevoir
- Analyse économétrique découlant des modèles *logit* multinomiaux :
 - Coefficients estimés du modèle *complet* rassemblant toutes les observations (269) et incluant les variables : *averti, installation, intrusion, cint, panne, facture francais, ib3.scol, ib3.age* et *entrevue*
 - Coefficients estimés du modèle *PAP* comprenant seulement les réponses collectées en porte-à-porte (118) et les variables : *installation, intrusion, cint, panne* et *i.revenu*
- Analyse qualitative :
 - Commentaires écrits ou collectés lors des entrevues en personne

Présentation sommaire des résultats

Bien que les résultats soient analysés par type de variable, il est pertinent de fournir *a priori* quelques tableaux pour les mettre en perspective.

L'analyse descriptive comprend les cotes d'importance, illustrées ci-dessous, qui indiquent l'importance de la variable dans le choix personnel de participer au projet. L'échelle s'étend de 1 (aucun impact) à 7 (décisif).

Figure 4 Cotes d'importance (échelle de 1 à 7)



En ce qui concerne l'analyse économétrique, les tableaux 12 et 13 synthétisent les coefficients estimés des modèles *complet* et *PAP*. Ils sont exprimés en termes de ratio de risque relatif (RRR) et d'effet partiel moyen (EPM). Les résultats des choix *non-intéressé* et *compensé* sont exprimés par rapport au scénario de référence : *volontaire*.

Tableau 12 Résultats du modèle *complet*

Modèle complet		<i>non-intéressé</i>		<i>compensé</i>	
269 observations					
Variables	RRR	EPM	RRR	EPM	
<i>averti</i>	-2,0	-1 %	-2,2	-14 %	
<i>installation</i>	8,4	7 %	1,9	6 %	
<i>intrusion</i>	20,4	8 %	5,8	27 %	
<i>cint</i>	4,0	6 %	-1,2	-7 %	
<i>panne</i>	-9,6	-7 %	-3,0	-15 %	
<i>facture</i>	-8,0	-8 %	-1,3	1 %	
<i>français</i>	-14,6	-11 %	-1,2	4 %	
<i>i.scol</i>					
Aucun	2,8	5 %	-1,2	-6 %	
Secondaire	7,8	11 %	1,2	-3 %	
Collégial	3,4	4 %	1,9	9 %	
Cycles_sup	1,8	0 %	2,1	13 %	
<i>i.age</i>					
18-24	10,2	5 %	4,7	23 %	
25-39	4,3	2 %	4,0	22 %	
40-54	10,4	6 %	3,0	14 %	
Plus de 64	16,0	6 %	5,7	25 %	
<i>entrevue</i>	1,3	-1 %	1,8	11 %	
Constante	-2,4	S.O.	-1,9	S.O.	
Légende					
Couleurs	Seuils de significativité				
	Inférieur à 5 %				
	Entre 5 % et 10 %				
	Entre 10 % et 15 %				
	Supérieur à 15 %				

Les teintes de couleur expriment la significativité des coefficients. Une case foncée signifie que le coefficient est significatif avec un niveau de confiance de 95 %. Sauf avis contraire, le **niveau de confiance utilisé est de 95 %**. Les coefficients sont tous interprétés sous la condition *ceteris paribus*. C'est-à-dire que le lien statistique entre une variable et une alternative est observé, alors que toutes les autres variables sont statiques.

Tableau 13 Résultats du modèle *PAP*

Modèle <i>PAP</i>	<i>non-intéressé</i>		<i>compensé</i>	
118 observations				
Variables	RRR	EPM	RRR	EPM
<i>installation</i>	8,6	13 %	1,8	1 %
<i>intrusion</i>	9,9	9 %	4,9	21 %
<i>cint</i>	-1,6	2 %	-2,8	-20 %
<i>panne</i>	-24,4	-12 %	-9,9	-32 %
<i>i.revenu</i>				
25-49k	-8,6	-20 %	-1,2	13 %
50-69K	-10,6	-16 %	-4,4	-13 %
70-99K	-6,7	-15 %	-2,6	-6 %
Plus de 99K	0,0	-26 %	-1,8	10 %
Sans réponse	-2,7	-10 %	-1,3	3 %
Constante	4,4	S.O.	10,7	S.O.

À moins d'une mention particulière, **les coefficients du modèle complet sont utilisés pour l'analyse**. Il est à noter que le nombre d'observations pour l'alternative *non-intéressé* est faible, alors les coefficients tendent à être surestimés. Le signe et la valeur relative aux autres coefficients sont plus concluants pour ce choix.

Aussi, les résultats des tableaux 12 et 13 seront décortiqués par type de variable dans la suite de l'analyse des résultats.

Outre les 22 variables explicatives considérées par le chercheur, **les sondés pouvaient émettre des commentaires écrits et verbaux sur des éléments qui les affectent et qui n'étaient pas soulevés dans le questionnaire**¹⁴. Le tableau 14, à la page qui suit, résume la fréquence des commentaires les plus populaires.

¹⁴ Quelques remarques portant sur des variables incluses dans le questionnaire sont tout de même présentées.

Tableau 14 Principaux commentaires des sondés

Commentaires	Fréquence (%)
Désir d'être compensé	
Bénéfices retirés par Hydro-Québec	7 %
Risques liés à l'équipement	4 %
Être un cobaye	1 %
Amélioration du réseau électrique	1 %
Temps d'installation et de maintenance	1 %
Motifs de participation	
Fiabilité de l'équipement	3 %
Amélioration du réseau pour le bien commun	3 %
Réduire la probabilité de pannes électriques	1 %
Bénéfices environnementaux	1 %
Dissuasifs à la participation	
Risque de manque d'eau chaude	3 %
Ondes électromagnétiques	2 %
Participation forcée	1 %
Mentions spéciales	
Ne croit pas à la réduction des tarifs d'électricité	2 %
Trop intrusif	1 %
Importance du service à la clientèle	1 %
Inquiétude vis-à-vis l'utilisation des données	1 %

5.4.1 IMPORTANCE DES OPTIONS D'IMPLANTATION

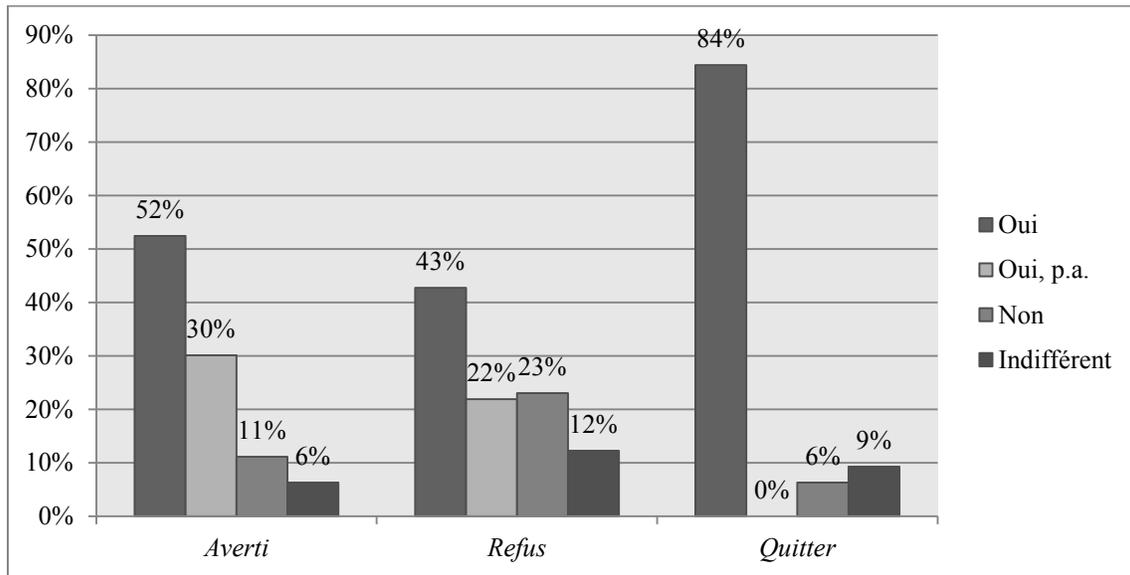
La première catégorie étudiée rassemble trois variables binaires : *averti*, *refus* et *quitter*. Elles indiquent si le sondé témoigne d'un désir de contrôle sur les interruptions, malgré le fait que le délestage n'affecte pas la température de l'eau sortante.

Tableau 15 Options d'implantation

Variables	Définition	<i>non-intéressé</i>		<i>compensé</i>	
		RRR	EPM	RRR	EPM
Options d'implantation					
<i>averti</i>	Désir d'une option d'être averti des interruptions.	-2,0	-1 %	-2,2	-14 %
<i>refus</i>	Désir d'une option de refus ponctuelle des interruptions.	Non significatif			
<i>quitter</i>	Désir d'une option de pouvoir quitter le programme en tout temps.	Retiré			

Comme montrés dans la figure 5, 84 % des répondants aimeraient disposer d'une option de désistement au programme. 82 % des sondés désirent être avertis des interruptions, dont 30 % pour une période d'adaptation. Étonnement, le désir de refuser les interruptions est légèrement moins élevé, soit de 65 %, dont 22 % pour une période d'adaptation. Une autre statistique vient confirmer cette propension : parmi ceux désirant l'option *averti*, 9 % la considèrent peu importante, tandis que parmi ceux désirant l'option *refus*, 23 % la considèrent peu importante¹⁵.

Figure 5 Réponses agrégées des questions 2.1, 2.2 et 2.3



Les deux variables de sensibilité aux options d'implantation *refus* et *quitter* sont cotées par des valeurs médianes (4,0 et 4,6 respectivement), signifiant qu'elles ont un impact modéré sur le choix de participer au projet. Cela dit, en observant scrupuleusement les données, un fait se fait remarquer pour l'option de désistement. En effet, 19 % des répondants ont qualifié l'option *quitter* de décisive contre 11 % pour l'option *refuser*.

Pour l'analyse économétrique, seulement la variable *averti* a été sélectionnée. La variable *refus* n'était pas statistiquement significative, mettant en relief son importance moins

¹⁵ Les sondés témoignant d'un désir des options *averti*, *refus* ou *quitter* devaient ensuite qualifier l'importance de l'option. [Voir les questions 2.2, 2.5 et 3.6].

marquée par rapport aux deux autres options. La variable *quitter* indiquait des résultats similaires à la variable *averti*, toutefois son estimé échouait les tests de significativité avec un niveau de confiance supérieur à 90 %.

averti

Le fait de vouloir être averti des délestages n'a pas d'effet concluant sur le désir de participer ou non au projet. Or, cette technologie incite la participation volontaire plutôt que la participation compensée. Il est environ 2 fois plus probable d'observer *volontaire* que *compensé* (ratio de risque relatif). Si cette option a le potentiel de réduire les compensations financières désirées, alors il est à l'avantage du promoteur du projet de développer un moyen efficace de communication avec ses clients. Le message électronique semblait être le véhicule préféré du projet pilote (Hydro-Québec, 2015 b).

Quelques sondés ont manifesté de manière verbale leur perception d'inutilité des options d'avertissement et de refus dans un contexte où le contrôle de la charge de leur chauffe-eau n'a pas d'impact sur leur consommation. L'impression du sondeur lors des entrevues est que **la simple présence de ces options est perçue comme une assurance que les interruptions ne nuiront pas à leurs activités quotidiennes**. Il est donc pertinent d'offrir le choix ou non de recevoir des alertes par message texte (ou courriel).

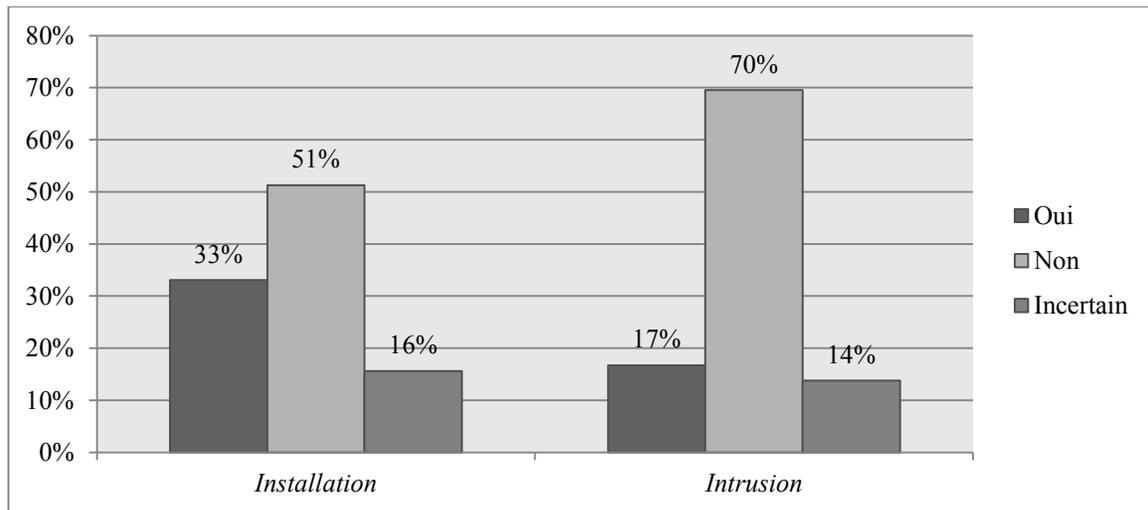
5.4.2 SENSIBILITÉ À L'INTRUSION

Tableau 16 Sensibilité à l'intrusion

Variables	Définition	<i>non-intéressé</i>		<i>compensé</i>	
		RRR	EPM	RRR	EPM
Sensibilité à l'intrusion					
<i>installation</i>	Considérer le temps en attente et en présence du technicien d'installation comme étant incommode.	8,4	7 %	1,9	6 %
<i>installation_pap</i>		8,6	13 %	1,8	1 %
<i>intrusion</i>	Percevoir le contrôle à distance de son chauffe-eau comme une intrusion dans sa vie privée.	20,4	8 %	5,8	27 %
<i>intrusion_pap</i>		9,9	9 %	4,9	21 %
<i>cint</i>	Avoir refusé l'installation d'un compteur intelligent à son domicile.	4,0	6 %	-1,2	-7 %
<i>cint_pap</i>		-1,6	2 %	-2,8	-20 %

La figure 6 expose deux constats. D’abord, 33 % des répondants considèrent l’installation de la charge interruptible comme étant incommodante¹⁶. Ensuite, **seulement 17 % de l’échantillon appréhendent le contrôle de la séquence d’activation de son chauffe-eau**¹⁷. Le fait qu’une entité externe contrôle un électroménager provoque chez ces individus un sentiment d’intrusion dans leur vie privée. À travers les questions sur les consentements à recevoir, la valeur accordée à l’intrusion (ou au sentiment de perte de contrôle sur son chauffe-eau) est estimée à 126 \$, et ce, pour les 34 % du groupe des *compensés* qui veulent être compensés pour l’intrusion. Malheureusement, le nombre d’observations est trop faible pour que la valeur du consentement à recevoir pour l’intrusion soit fiable.

Figure 6 Réponses agrégées des questions 2.7 et 3.1



En considérant les réponses agrégées du graphique ci-haut et la faible cote d’importance (2,7) de la variable *intrusion*, le lecteur peut être porté à croire que cette variable n’est pas déterminante dans le projet. Cependant, l’analyse économétrique contredit cette affirmation. Le coefficient estimé est significatif pour les deux modèles (*complet* et *PAP*) et largement supérieur à 1 pour le ratio de risque relatif des deux choix : *non-intéressé* et *compensé*.

¹⁶ Le temps d’installation varie entre 20 minutes et une heure, excluant le temps d’attente du technicien.

¹⁷ Excluant 14 % d’individu indécis quant à l’intrusion.

intrusion

La probabilité relative de ne pas être intéressé par rapport à être volontaire est 20 fois plus élevée lorsque la variable dichotomique *intrusion* est positive pour le modèle *complet* (10 fois pour le modèle *PAP*). Ce ratio de risque relatif est de 6 en comparant les alternatives *compensé* et *volontaire*. Le sentiment d'intrusion ou de perte de contrôle sur son chauffe-eau est sans équivoque un facteur d'impact sur les choix de participation.

En plus des réponses normales au questionnaire, 1 % des sondés ont exprimé verbalement leur refus catégorique de participer au programme en raison du sentiment d'intrusion.

En juxtaposant les analyses descriptive, économétrique et qualitative, **la perception d'intrusion semble se démarquer fortement, mais seulement sur une petite partie de la population**. Bien que le projet ne fasse pas l'unanimité, cette recherche montre qu'une majorité de la population est encline à participer au projet. Pour éviter une opposition intense de la population considérant le projet comme étant intrusif, l'appel à une inscription volontaire serait une technique efficace.

installation

Considérer l'installation de la charge interruptible comme étant incommode augmente largement la probabilité relative de ne pas être intéressé au projet plutôt que de se porter volontaire (8 fois plus probable pour les deux modèles). Ce fait augmente aussi la probabilité relative de vouloir être compensé plutôt qu'être volontaire (2 fois plus probable). Selon ces résultats, l'installation est l'une des variables les plus importantes du projet ; son effet sur le choix de participer ou non au projet est remarquable.

Plusieurs commentaires véhiculés lors de la collecte de données concernent directement et indirectement l'installation. 1 % des personnes ont manifesté la nécessité d'être compensées pour le temps d'installation et de maintenance. 1 % des individus ont souligné le facteur du service à la clientèle. 4 % des sondés désirent être compensés pour les risques reliés à la charge interruptible (ex. : risque d'incendie dû à l'appareil) et 3 % ont indiqué que la fiabilité de l'équipement était un incitatif à la participation. Compte

tenu des informations susmentionnées, les technicités d'installation et le service à la clientèle entourant cette étape de l'implantation du projet devront être impeccables.

cint

Afin que la variable *cint* soit positive, l'individu sondé doit avoir refusé l'installation de l'infrastructure de mesurage avancée (compteur intelligent). Il est 4 fois¹⁸ plus probable de ne pas être intéressé plutôt qu'être volontaire considérant le refus d'utiliser cet appareil de mesurage. La variable *cint* n'a pas d'effet significatif sur le choix de participer avec versus sans compensation monétaire.

Bien que d'autres caractéristiques puissent influencer ces résultats, les données montrent que cette opposition au projet de compteur intelligent se répercute sur le projet de chauffe-eau à charge interruptible. Cela pourrait provenir d'une crainte non seulement par rapport aux ondes électromagnétiques, mais aussi d'une réfraction par rapport à l'utilisation de données précises sur sa consommation d'électricité. Des études complémentaires pourraient se pencher sur l'impact psychologique de la crainte de l'utilisation des données pour ce type de projet.

Les commentaires viennent réaffirmer ces hypothèses. 1 % des personnes sondées se sont dites inquiètes de l'utilisation des informations nécessaires à la participation au projet. 2 % des répondants refuseraient de participer uniquement en raison des ondes électromagnétiques entre la charge interruptible et le compteur intelligent (ou le réseau Internet privé).

5.4.3 SENSIBILITÉ AUX BÉNÉFICES

Il y a trois bénéfices susceptibles d'être importants pour les participants ; les deux bénéfices privés indirects : *panne* et *facture*, et l'amélioration globale du réseau électrique : *social*.

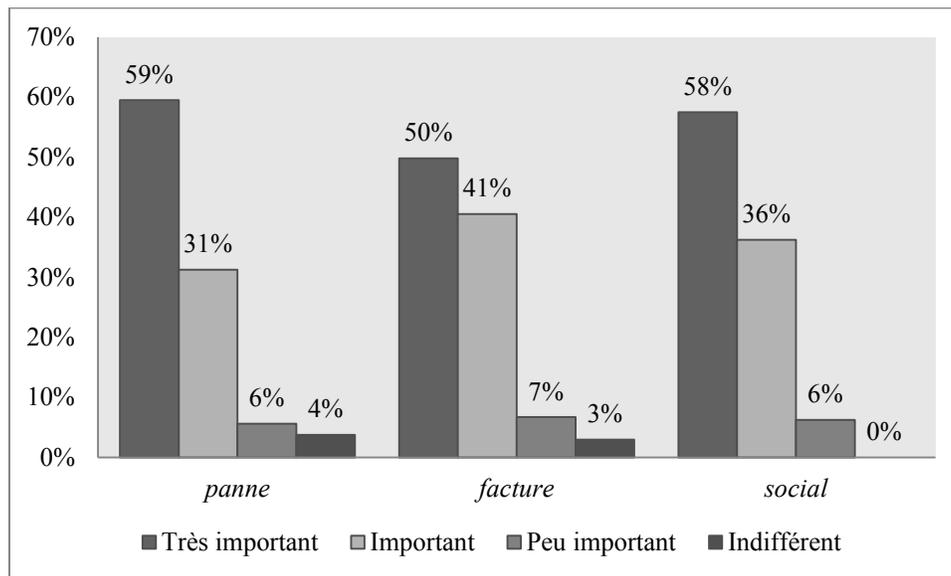
¹⁸ Niveau de confiance de 90 %.

Tableau 17 Sensibilité aux bénéfices

Variables	Définition	<i>non-intéressé</i>		<i>compensé</i>	
		RRR	EPM	RRR	EPM
Sensibilité aux bénéfices					
<i>panne</i>	Accorder de l'importance à la réduction de la probabilité de pannes électriques à son domicile.	-9,6	-7 %	-3,0	-15 %
<i>panne_pap</i>		-24,4	-12 %	-9,9	-32 %
<i>facture</i>	Accorder de l'importance à la réduction de la probabilité d'une hausse future de sa facture d'électricité.	-8,0	-8 %	-1,3	1 %
<i>social</i>	Accorder de l'importance à l'amélioration du réseau électrique québécois.	Exclu car seulement la version 2 du questionnaire en faisant mention.			

Comme le témoigne la figure 7, la variable *facture* décompte légèrement moins de mentions « très important » (50 % pour *facture* contre 59 % pour *panne* et 58 % pour *social*). Pourtant, lorsque le participant est demandé de classer les trois effets en ordre d'importance, la variable *facture* est celle qui ressort en première position la majorité du temps (41 % contre 32 % et 28 % pour *panne* et *social* respectivement).

Figure 7 Réponses agrégées des questions 4.1, 4.2 et 4.3



Les trois bénéfices sont les variables ayant les cotes d'importance les plus élevées (5,3 pour *facture*, 5,2 pour *panne*, et 5,1 pour *social*). Environ 30 % des répondants ont accordé la cote 7 à ces bénéfices, signifiant que chacune d'entre elles était décisive dans le choix de participer au projet. Les résultats des modèles *logit* confirment ces tendances.

panne

Accorder de l'importance à la probabilité de réduire les pannes électriques à son domicile a un effet positif sur la volonté de participer au projet sans incitatif financier. Selon cette variable, il est 3 fois moins probable¹⁹ de vouloir participer avec compensation que de vouloir participer bénévolement (ce ratio de risque relatif est d'autant plus élevé [10] pour le modèle *PAP*). Il est également 10 fois plus probable d'observer *volontaire* que *non-intéressé* compte tenu de l'importance de la réduction des pannes de réseau.

Des recherches approfondies doivent quantifier l'ampleur des bénéfices du projet sur le réseau électrique et principalement sur la fréquence des pannes électriques. Ce bénéfice a le potentiel d'être un outil promotionnel fort.

facture

Il est 8 fois plus probable de se porter volontaire que ne pas être intéressé lorsque la personne accorde de l'importance à la probabilité d'éviter une hausse des tarifs d'électricité. Une considération notable est portée sur la réduction de sa facture d'électricité, pourtant, les retours financiers, provenant des économies de coûts de distribution d'électricité, sont marginaux au niveau individuel. Alertes de ce constat, 2 % des sondés ont signalé ne pas « croire » aux baisses des tarifs d'électricité. Hydro-Québec devrait publier ses études sur les réductions de coûts d'approvisionnement, afin que le public prenne une décision bien fondée.

En ce qui a trait aux commentaires, il y a deux positions divergentes observées. 1 % des individus désirent être compensés pour leur contribution à l'amélioration du réseau électrique. À l'opposé, 3 % des répondants souhaiteraient participer au programme pour contribuer à améliorer le réseau ayant pour dessein le bien commun.

¹⁹ Niveau de confiance de 90 %

5.4.4 CARACTÉRISTIQUES SOCIODÉMOGRAPHIQUES

Huit caractéristiques sociodémographiques ont été considérées : *i.region*, *femme*, *français*, *i.age*, *i.revenu*, *i.scol*, *asso* et *taille*. Afin de faciliter la compréhension, les résultats des modèles *complet* et *PAP* sont présentés distinctement pour cette catégorie de variables.

Tableau 18 Caractéristiques sociodémographiques

Variables	Définition	<i>non-intéressé</i>		<i>compensé</i>	
		RRR	EPM	RRR	EPM
Caractéristiques sociodémographiques					
<i>i.region</i>	Lieu de résidence.	Non significatif			
Montréal					
Laval					
Autre					
<i>femme</i>	Être une femme.	Retiré			
<i>français</i>	Être francophone à la naissance.	-14,6	-11 %	-1,2	4 %
<i>i.age</i>	Tranche d'âge.	Tranche de référence			
18 - 24 ans		10,2	5 %	4,7	23 %
25 - 39 ans		4,3	2 %	4,0	22 %
40 - 54 ans		10,4	6 %	3,0	14 %
55 - 64 ans		Tranche de référence			
> 64 ans		16,0	6 %	5,7	25 %
<i>i.revenu</i>	Tranche de revenu annuel avant impôt du ménage.	Retiré			
<i>i.revenu_pap</i>		Tranche de référence			
< 25 000 \$		-8,6	-20 %	-1,2	13 %
25 000 49 999 \$		-10,6	-16 %	-4,4	-13 %
50 000 69 999 \$		-6,7	-15 %	-2,6	-6 %
70 000 99 999 \$		0,0	-26 %	-1,8	10 %
> 99 999 \$		-2,7	-10 %	-1,3	3 %
Sans réponse					
<i>i.scol</i>	Niveau d'études complété comprenant un certificat ou un diplôme pour chaque niveau respectif.	Tranche de référence			
Aucun diplôme		2,8	5 %	-1,2	-6 %
Secondaire		7,8	11 %	1,2	-3 %
Collégial		3,4	4 %	1,9	9 %
Premier cycle		Tranche de référence			
Cycles supérieurs		1,8	0 %	2,1	13 %
<i>asso</i>	Membre d'une association ayant des visées sociales ou environnementales.	Retiré			
<i>taille</i>	Vivre dans un ménage à plusieurs membres.	Non significatif			

Modèle *complet*

Le lieu de résidence (*i.region*) et le fait de ne pas vivre seul (*taille*) n'ont pas de lien statistiquement significatif avec les trois scénarios ; ils ont été retirés en priorité. À partir de la seconde construction testée (incluant toutes les variables significatives), *asso*, *femme* et *i.revenu* ont été supprimées par souci de parcimonie. En fait, être membre d'une association ayant des visées sociales (*asso*) et le genre de l'individu (*femme*) ont été jugées non essentielles à l'interprétation des résultats. La variable *i.revenu* n'est pas incluse dans le modèle *complet* puisque, d'une part, les coefficients de chaque tranche de revenu n'étaient pas tous significatifs, d'autre part, il y avait une légère corrélation avec l'âge (36 %). La corrélation entre deux variables explicatives a pour effet de biaiser les estimateurs. Un coefficient positif de *i.age* aurait été surestimé en raison de cette corrélation positive avec *i.revenu*. L'impact du revenu sur les choix de participation est cependant analysé pour le modèle *PAP*.

français

La probabilité moyenne de ne pas être intéressé est 11 % moins élevée lorsque la langue maternelle d'un individu est le français plutôt qu'une autre langue. Tel que soulevé à la sous-section 3.1.6 Représentativité de l'échantillon, 89 % de l'échantillon est francophone, ce qui n'est pas représentatif de la population montréalaise. Le coefficient est tout de même significatif à un niveau de confiance de 95 %, il est donc pertinent de mentionner son lien statistique avec les choix de participation.

i.scol

Le niveau de scolarité de référence est le diplôme universitaire de premier cycle. Les coefficients significatifs permettent d'observer des liens statistiques entre les niveaux de scolarité et les choix individuels. Dans un premier temps, il est 8 fois²⁰ plus probable qu'un individu possédant un diplôme d'études secondaires plutôt qu'universitaires ne soit pas intéressé au projet plutôt que volontaire. Il est également 2 fois²¹ plus probable de ne

²⁰ Niveau de confiance de 90 %

²¹ Niveau de confiance entre 85 % et 90 %

pas être intéressé qu'être volontaire en possédant un diplôme d'études collégiales plutôt qu'universitaire (1^{er} cycle). Dans un deuxième temps, il est intéressant de constater qu'il est environ 2 fois²² plus probable de vouloir être compensé qu'être volontaire lorsque la personne détient un diplôme universitaire de cycle supérieur plutôt que de premier cycle.

i.age

La tranche d'âge de référence est celle de 55 à 64 ans. Les tranches d'âge semblent avoir des effets considérables sur l'appréhension du public au projet de « télécontrôle » des chauffe-eau. Les gens de 55 à 64 ans sont les plus enclins à participer au projet. Il est 10 (seuil de confiance de 15 %), 10 (seuil de confiance de 10 %) et 16 fois plus probable d'observer *non-intéressé* que *volontaire* pour les tranches d'âges respectives de 18 à 24 ans, 40 à 54 ans et plus de 64 ans par rapport aux individus de 55 à 64 ans. De surcroît, la probabilité moyenne de vouloir être compensé augmente d'environ 20 % lorsqu'un individu fait partie d'une tranche d'âge autre que celle de référence.

La tranche d'âge 55 à 64 démontre un engouement prononcé envers le projet par rapport aux autres catégories d'âge. Plusieurs pistes de réflexion sont à explorer relativement aux autres tranches d'âge : l'âge des enfants, le salaire, la flexibilité de l'utilisation d'eau chaude, le degré de conscientisation sociale, etc.

Modèle *PAP*

La logique est similaire pour le modèle *PAP*, les variables *i.region*, *femme*, *i.age* et *taille* ont été supprimées puisque leur coefficient estimé n'était pas significatif. *asso* et *français* ne font pas partie de la régression finale puisque le nombre de variables à inclure est restreint par le nombre d'observations faible. Le revenu est la seule caractéristique sociodémographique étudiée dans cette régression.

²² Niveau de confiance de 90 %

i.revenu

Pour le modèle *PAP*, le revenu du ménage avant impôts a des effets notables sur les choix de participer. La tranche de revenu de référence est de moins de 25 k\$. Le désir de participer volontairement est plus élevé que le non-intérêt pour les catégories de revenu supérieur à 25 k\$. Il est effectivement 9²³, 10²⁴ et 7²⁵ fois plus probable d'observer *volontaire* plutôt que *non-intéressé* pour les tranches de revenus respectives de 25-49 k\$, 50-69 k\$ et 70-99 k\$ par rapport à un revenu sous 25 k\$.

5.4.5 CRITÈRES TECHNIQUES

Tableau 19 Critères techniques

Variables	Définition	<i>non-intéressé</i>		<i>compensé</i>	
		RRR	EPM	RRR	EPM
Critères techniques					
<i>proprio</i>	Être propriétaire ou copropriétaire de son lieu de résidence.	Non significatif			
<i>paiement</i>	Contribuer à payer la facture d'électricité de son ménage.	Non significatif			
<i>type_ce</i>	Détenir un chauffe-eau électrique.	Non significatif			
<i>capacité</i>	Détenir un chauffe-eau de 180 l de capacité.	Non significatif			

Les quatre variables techniques (*proprio*, *paiement*, *type_ce*, *capacité*) n'ont pas de lien statistiquement significatif avec les choix de participation au projet. Ce qui permet d'affirmer que l'admissibilité à certains critères tels qu'une capacité de réservoir du chauffe-eau minimale ou le statut de propriétaire n'a pas d'impact sur sa volonté de participer au projet ou d'être compensé. La pertinence du choix de l'approche empirique²⁶ pour sélectionner la population cible de l'étude et l'hypothèse sous adjacente sont donc validées par ces résultats. L'hypothèse posée était que tous les individus majeurs étaient susceptibles de valoriser le projet, et ce, indépendamment du paiement d'une facture d'électricité ou d'un autre critère technique.

²³ Niveau de confiance entre 85 % et 90 %

²⁴ Niveau de confiance de 90 %

²⁵ Niveau de confiance de 90 %

²⁶ Rappel : l'approche empirique consiste à choisir sa population en fonction de la valorisation potentielle du projet plutôt que par l'impact monétaire du projet (approche légale).

5.4.6 BIAIS

Tableau 20 Variables liées aux biais

Variables	Définition	non-intéressé		compensé	
		RRR	EPM	RRR	EPM
Biais					
<i>version</i>	Avoir répondu au questionnaire décrivant les bénéfices sociaux (version 2).	Non significatif			
<i>entrevue</i>	Avoir répondu au questionnaire en présence du sondeur.	1,3	-1 %	1,8	11 %

En ce qui concerne les biais sociaux :

- Le consentement à recevoir annuel moyen des individus ayant répondu à la version du questionnaire sans bénéfices sociaux est de 141 \$ pour les 36 % qui ont exprimé leur désir d'être compensés.
- Le consentement à recevoir annuel moyen des individus ayant répondu à la version du questionnaire avec bénéfices sociaux est de 131 \$ pour les 43 % qui ont exprimé leur désir d'être compensés.

La portion de personnes désirant être compensées est légèrement supérieure dans la version avec bénéfices sociaux, seulement ce constat n'est pas statistiquement significatif dans le modèle *logit*. Avec un niveau de confiance de 95 %, il est conclu que **la version du questionnaire n'a pas d'impact sur les choix étudiés.**

Lorsque les bénéfices sociaux sont mentionnés, le consentement à recevoir désiré est de 10 \$ de moins en moyenne. Cette faible réduction met en relief le fait qu'**évoquer les bénéfices sociaux n'a pas un impact considérable sur la compensation financière désirée.** Une théorie sur cette observation est que les bénéfices sont intégrés dans le processus de décision des individus. Il est raisonnable de croire que les sondés internalisent les bénéfices sociaux lors de la prise de décision, peu importe s'ils sont mis en évidence dans le questionnaire.

En ce qui a trait aux biais d'entrevue :

- Le consentement annuel moyen des individus ayant été approchés en porte-à-porte est de 107 \$ pour les 46 % qui ont exprimé leur désir d'être compensé.

- Le consentement annuel moyen des individus n'ayant pas été approchés en personne est de 174 \$ pour les 29 % qui ont exprimé leur désir d'être compensé.

Les individus répondant par questionnaire en ligne semblent être moins enclins à exprimer leur consentement à recevoir. Cette propension est évaluée ci-dessous dans le modèle *logit* sous la variable *entrevue*.

Les entrevues en personne tendent à réduire le consentement à recevoir. Le fait que le sondé désire potentiellement « plaire » au sondeur – *enumerator bias* – pourrait expliquer ce phénomène. La pertinence d'avoir effectué une collecte de données en ligne se réaffirme, car le biais d'entrevue est dilué dans un échantillon plus populeux et diversifié.

entrevue

Le fait d'avoir été approché en personne (*entrevue*) a un effet sur la volonté d'être compensé plutôt qu'être volontaire. Il est effectivement 2 fois plus probable d'observer *compensé* que *volontaire*. Ce résultat peut survenir en raison du temps d'achèvement ou d'un biais de sélection.

La rapidité d'exécution du questionnaire en ligne est difficilement chiffrable puisque certains individus ne remplissent pas le sondage en un seul moment. Il est tout de même valable de croire qu'un individu sondé en personne a tendance à prendre davantage de temps pour comprendre et répondre aux questions qu'une personne sondée en ligne. La probabilité de communiquer son consentement à recevoir est ainsi plus élevée pour l'individu approché en porte-à-porte.

Un biais de sélection peut aussi émaner de la méthode d'échantillonnage par commodité. Le fait de distribuer le sondage dans le réseau du sondeur implique une présélection. Les caractéristiques sociodémographiques du groupe sondé en personne sont partiellement différentes de celles du groupe sondé en ligne. Puisque certaines de ces caractéristiques ont un effet significatif sur les choix de participation, alors il est naturel d'observer de légères divergences dans les alternatives choisies par ces deux groupes.

6. CONCLUSIONS

6.1 RETOUR SUR LES RÉSULTATS

L'étude du projet de contrôle de la séquence d'activation de chauffe-eau résidentiels a été réussie grâce à l'évaluation contingente menée par questionnaire. La grande quantité d'informations collectées a mené à la construction d'une analyse riche concernant les choix de participation au projet. Avant de conclure, une synthèse des résultats s'impose.

Concernant la propension à accepter le projet, la population de Montréal et de ses alentours démontre un intérêt remarquable. Un peu plus de la moitié de cette population s'enrôlerait de manière bénévole dans le programme de gestion de la demande d'électricité. De plus, il est possible d'inciter plus de 60 % de cette population à participer en offrant une compensation financière annuelle de 75 \$ ou moins. Ces statistiques témoignent de la volonté de s'impliquer dans un projet national qui a des retombées positives sur le réseau électrique.

En ce qui a trait à la valorisation économique du contrôle de la séquence d'activation de son chauffe-eau, il est estimé qu'environ 40 % de la population à l'étude désireraient être compensés. Le consentement à recevoir annuel moyen de ce groupe est estimé à 140 \$. En y ajoutant les consentements à recevoir de valeur nulle du groupe d'individus qui se porteraient volontaires, la récompense financière annuelle moyenne désirée chute à 54 \$.

Afin de contextualiser les résultats, il est pertinent de soulever l'analyse coûts-bénéfices effectuée par Dufresne (2016) qui chiffre la valeur du projet à l'étude à près de 90 \$ par chauffe-eau par année pour Hydro-Québec. La compensation financière annuelle utilisée était de 30 \$ par participant. Le projet ne serait plus rentable pour Hydro-Québec si la compensation financière excédait 110 \$. Les exigences en matière de valorisation du contrôle du groupe d'individus voulant être compensés sont supérieures aux bénéfices qu'en retirerait Hydro-Québec (140 \$ vs 110 \$). Par contre, en considérant la grande proportion de personnes qui se porteraient volontaires, le projet est viable (54 \$ vs 110 \$).

Une stratégie d'implantation envisageable par Hydro-Québec est de lancer le programme sans offrir de compensation financière. Il y aurait, dès lors, une masse critique d'individus voulant se porter volontaire (environ la moitié des habitants de Montréal et de

ses banlieues). Offrir une compensation financière symbolique (moins de 75 \$) n'est pas une stratégie économiquement optimale d'un point de vue économique; elle motiverait peu de gens à changer leur désir de participer au projet tout en profitant à plusieurs personnes qui participeraient sans incitatif financier.

De manière plus précise, le mémoire identifie les préférences individuelles quant au projet de débranchement de chauffe-eau résidentiels. Les principales observations, ordonnées en fonction de leur importance, se dépeignent ainsi :

- La perception d'intrusion semble se démarquer fortement, mais seulement auprès d'une petite partie de la population. En effet, environ 17 % de la population est susceptible de vouloir être compensés ou de ne pas vouloir participer en raison du contrôle externe de leur chauffe-eau. La valeur de non-usage, soit le sentiment d'intrusion ou de perte de contrôle, n'a pas pu être isolée dans le consentement à recevoir, puisque le nombre d'observations y étant associé était trop faible.
- Les bénéfices du projet doivent être quantifiés et clairement mis en évidence auprès des participants potentiels. Le cadre du projet, étant la gestion de la demande de puissance électrique, est un enjeu qui intéresse la population. Cette dernière est conscientisée quant aux problèmes de pointes de consommation d'électricité et des gains potentiels liés à l'exportation. Les résultats de l'analyse montrent que les individus recherchent une occasion de s'impliquer dans un projet ayant des impacts sociaux positifs.
- Dans le même ordre d'idées, plusieurs personnes ont manifesté leur désir de connaître les retombées de ce programme national. Ces dernières veulent savoir si leur participation aura généré des retours bénéfiques pour Hydro-Québec et la manière dont ces bénéfices se répercutent sur leur facture d'électricité.
- Le projet de contrôle des chauffe-eau par une entité externe est bien reçu par le public puisqu'il n'entrave pas les habitudes de vie des participants, contrairement à d'autres programmes de contrôle (air conditionné, système de chauffage, etc.).
- L'importance accordée par la population au potentiel de réduction des pannes électriques est saisissante. Des recherches sur le sujet devraient être promues.

- La connaissance d'incitatifs financiers versés dans des programmes similaires hors Québec a mené un quart de l'échantillon à changer son choix de participer au projet de façon bénévole vers le désir de participer à la condition d'être récompensé.
- De multiples commentaires à propos des conditions d'installation (horaire et durée), de la fiabilité de l'appareil de déconnexion et de la qualité du service à la clientèle témoignent de l'importance de ces éléments lors du déploiement à grande échelle.
- Les options d'avertissement et de refus des interruptions de son chauffe-eau par message texte (ou courriel), ainsi que la liberté de pouvoir quitter le programme en tout temps, agissent comme une assurance ; elles favorisent la confiance des participants envers la technologie de délestages. Le désir d'être averti se démarque des deux autres options ; c'est un motif contribuant au choix de se porter volontaire.
- Le choix d'une collecte de données au moyen de deux véhicules (en personne et en ligne) a permis d'identifier un biais d'entrevue. Ce biais se répercute de deux manières : d'une part, il augmente la propension à communiquer son désir d'être compensé, d'autre part, il réduit le consentement à recevoir moyen.
- Parmi la population à l'étude, 7 % exigeraient une compensation simplement parce que le fournisseur d'électricité en retire un bénéfice monétaire.
- L'âge est un facteur démographique crucial. La tranche d'âge 55 à 64 ans témoigne d'un engouement prononcé envers le projet par rapport aux autres groupes d'âge.
- L'augmentation du niveau de scolarité semble avoir un lien statistique positif avec la volonté de participer bénévolement par rapport à ne pas être intéressé au projet. Il est pertinent de souligner que les individus les plus scolarisés (diplômés d'université de cycles supérieurs) manifestent un désir accru d'être compensés.
- L'augmentation du revenu brut du ménage a des liens statistiques plus prononcés sur le choix de participer ou non au projet que sur le choix de participer avec ou sans compensation financière.
- L'admissibilité à certains critères, tels qu'une capacité de réservoir du chauffe-eau minimale ou le statut de propriétaire, n'a pas d'impact sur son choix de participer.
- Les craintes concernant les ondes électromagnétiques et l'utilisation des données de consommation d'électricité se sont manifestées auprès de 3 % de l'échantillon.

6.2 CONTRIBUTIONS

Les contributions de ce mémoire s'illustrent sur trois champs de la littérature scientifique.

D'abord, les résultats sur les biais sociaux et d'entrevue s'ajoutent à la littérature étendue des biais entourant l'évaluation contingente. En créant deux versions du questionnaire (avec et sans mention des bénéfiques sociaux) et en utilisant deux méthodes de collecte de données, les biais ont été identifiés et les conclusions ont été enrichies.

Ensuite, ce mémoire est le premier qui utilisait l'évaluation contingente afin d'évaluer la valeur de non-usage inhérente au contrôle d'un électroménager. Le questionnaire et la structure de l'analyse des réponses pourront servir de cadre à ce nouveau type d'étude. Les projets de gestion directe de la demande d'électricité gagnent rapidement en l'ampleur parmi les interventions d'Hydro-Québec Distribution, d'où la valeur de posséder une structure d'analyse reproductible.

Enfin, l'adaptation d'un modèle économétrique – *logit* multinomiale – se distingue par son originalité. Les choix de participation au projet sont expliqués par des variables aussi différentes que l'âge et le sentiment d'intrusion dans la vie privée. Cette recherche expose ainsi les facteurs qui influencent les préférences de la population pour différentes facettes du projet en plus d'estimer le consentement à recevoir.

Dans l'optique de poursuivre l'initiative de gestion de la charge de chauffe-eau résidentiels, il serait fort intéressant de mener une enquête similaire auprès d'un échantillon représentant tout le Québec. Plusieurs constats, dont l'impact de vivre en milieu rural ou l'effet de résider dans une certaine région, enrichiraient l'analyse. Le consentement à recevoir moyen serait d'autant plus représentatif de la population visée par Hydro-Québec, soit tous les ménages québécois. Aussi, inclure des questions plus techniques dans le questionnaire (horaire d'installation, moyen de communication des interruptions, véhicule de communication avec la charge interruptible, etc.) bonifierait la compréhension des préférences individuelles, ce qui contribue à une implantation réussie du programme.

ANNEXE A INTERVENTIONS EN GESTION DE LA PUISSANCE

L'acronyme HQD dans les titres des graphiques désigne Hydro-Québec Distribution.

Tableau 21 Programme Charges interruptibles résidentielles – Chauffe-eau (HQD)

Variable	Unité	2017A
Investissement	Millions de dollars	26
Nombre	Unité	92 100
Gain unitaire moyen net	kW	0,7
Impact net sur la puissance	MW	64

Source : Hydro-Québec (2016)

Tableau 22 Interventions anticipées (HQD)

Activités	Programmes	2016A (Millions de \$)	2017A (Millions de \$)	2017A (%)
Gestion de la demande en puissance	Chauffe-eau à trois éléments	2	2	2 %
	Sensibilisation et biénergie DT	1	1	1 %
	Charges interruptibles résidentielles	2	26	23 %
	Charges interruptibles – Bâtiments CI	<1	<1	0 %
Marché Résidentiel		25	20	17 %
Marché Affaires – CI		28	22	19 %
Marché Affaires – Industriel		24	18	16 %
Autre		22	26	23 %
Budget total			115	100 %

Source : Hydro-Québec (2016). Voir le tableau A-1 (p.23).

Tableau 23 Impacts énergétiques des programmes de GDP (HQD)

Activité	Programmes	2016A (MW)	2017A (MW)
Gestion de la demande en puissance	Chauffe-eau à trois éléments	3	3
	Sensibilisation et biénergie DT	0	0
	Charges interruptibles résidentielles	0	83
	Charges interruptibles – Bâtiments CI	40	80

Source : Hydro-Québec (2016). Voir le tableau A-3 (p.25).

Tableau 24 Détails sur les impacts énergétiques des projets de GDP (HQD)

Activité	Programmes	Nombre (Unité)	Gain unitaire moyen net (kW/an)	Impact énergétique (GW ajoutés nets)
Gestion de la demande en puissance	Chauffe-eau à trois éléments	25 675	0,1	3
	Charges interruptibles résidentielles	92 100	0,7	64
	Charges interruptibles – Bâtiments CI	160	415	66

Source : Hydro-Québec (2016). Voir le tableau B-1 (p.29).

Les charges interruptibles installées, depuis l’hiver 2015-2016, dans les bâtiments d’Hydro-Québec contribuent à l’effacement de 15 MW par année. Lors du même hiver, la technologie a été implantée chez 43 entreprises (180 bâtiments), dégageant un gain en puissance de 25 MW. Ce dernier projet est connu sous le nom de *Charges interruptibles – Bâtiments commerciaux et institutionnels* (CI). Ce programme contribuera de 40 MW et de 80 MW lors des deux hivers suivants. Pour des informations complémentaires sur ces projets de gestion de la charge en milieu commercial, le lecteur peut consulter la pièce Hydro-Québec (2016).

Complément 1 Précisions sur les collectes de données

Entrevue en personne

En ce qui concerne les entrevues en personnes, l'utilisation d'une tablette a permis de télécharger directement les résultats d'enquête dans la base de données. Les périodes de collectes se sont effectuées par blocs de deux heures à deux reprises dans la journée. Les heures de collectes étaient réparties de 9 : 00 à 20 : 00, et ce, sur des quarts de jour, de soir et de fin de semaine. La flexibilité de l'horaire aboutit en une collecte plus représentative de la population.

Le temps de réponse moyen était de 10 minutes, à l'intérieur d'un intervalle de 7 à 15 minutes. Ce taux de réponse dépendait : 1) du nombre de questions à répondre, variant entre les individus selon leurs réponses et selon la version du questionnaire, et 2) du nombre de questions que la personne posait au sondeur.

Le taux d'achèvement était de cinq questionnaires par deux heures de porte-à-porte. Le taux de réponse dépendait des heures de passage. Entre 9 : 00 et 15 : 30, beaucoup de domiciles étaient vides, mais ces heures de passage permettaient d'obtenir l'avis de personnes plus âgées. Les heures de collecte les plus efficaces étaient entre 15 : 30 et 17 : 30, soit dès le retour au travail et avant le souper. Par la suite, les gens étaient beaucoup moins ouverts (possiblement plus craintif en raison de la clarté réduite). Enfin, la fin de semaine est excellente pour sonder une variété d'individus. Les sondés ont aussi plus de temps pour commenter leurs réponses, ce qui est utile pour la recherche.

Message électronique

L'outil Qualtrics empêche une personne de remplir le questionnaire plus d'une fois (option : empêcher le bourrage d'urnes). Le répondant peut tout de même rouvrir le sondage, dans un délai d'une semaine, s'il n'était pas complété.

Le temps de réponse moyen en ligne était de 12 minutes, en excluant les valeurs extrêmes. L'intervalle est peu informatif en raison de la possibilité de continuer un

sondage incomplet (trop de valeurs extrêmes). Ce temps est supérieur à celui en personne, car la lecture du questionnaire par le sondé est probablement plus lente que la diction orale par le sondeur.

Complément 2 Détails sur l'entrevue en personne

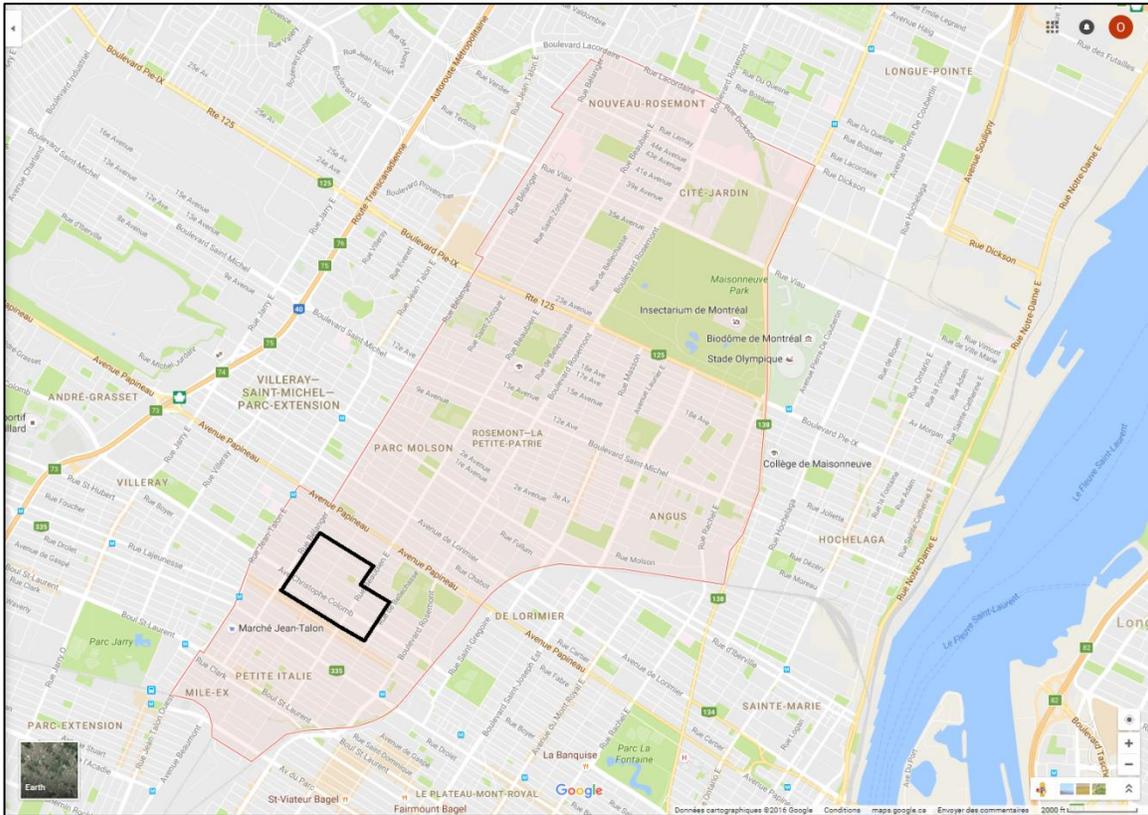
La première règle à respecter lors de l'entrevue en personne est de fournir la même information que celle comprise dans la version en ligne du questionnaire. Tous les répondants doivent avoir la même information, et ce, indépendamment de la méthode de collecte de données.

Ensuite, le sondeur doit adopter une attitude impartiale, c'est-à-dire que ses propos et ses expressions non verbales doivent être neutres. Le sondeur évoque, par exemple, qu'il est autant intéressé à savoir si le projet intéresse ou n'intéresse pas la personne approchée (c.-à-d. qu'il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse).

Comme mentionnée dans la section 3.1.2, l'entrevue en personne offre l'opportunité de réaffirmer les hypothèses de travail et de clarifier les détails du projet. Certains points soulevés sont : l'indépendance de l'étude via Hydro-Québec pour limiter les biais stratégiques, les explications claires des bénéfices privés du projet et des hypothèses de travail pour améliorer la compréhension du cadre hypothétique, le motif académique et la facilité de répondre aux questions (aucune question technique) pour ne pas démotiver l'intérêt et pour augmenter le taux de réponse.

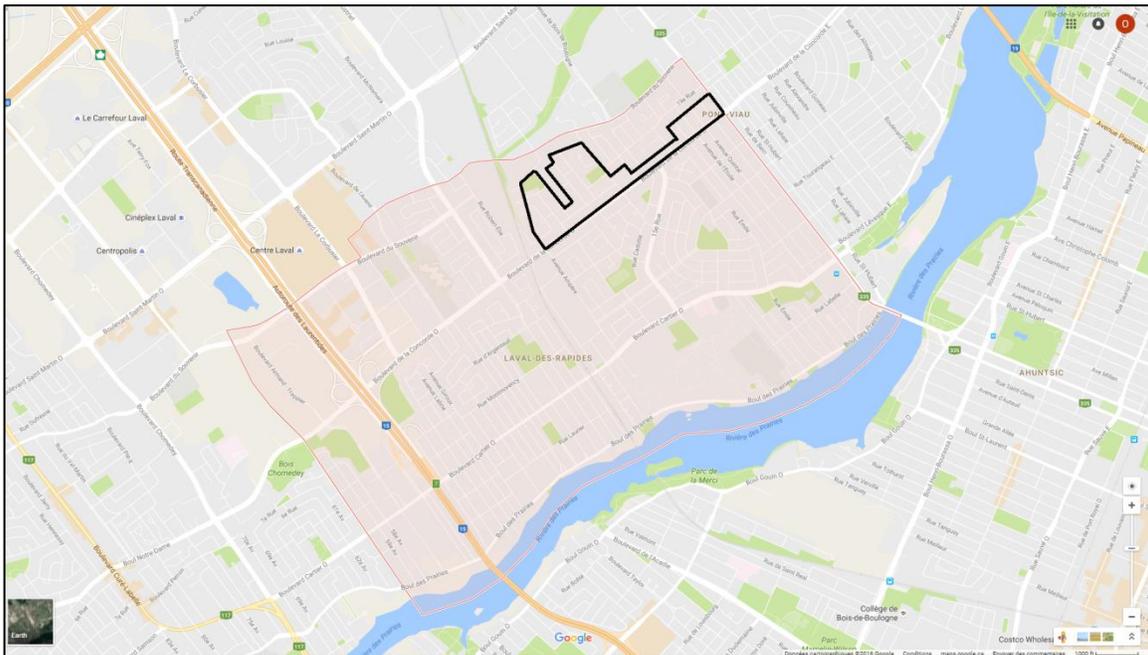
Enfin, l'option de se faire lire le questionnaire à voix haute permet à une personne analphabète de répondre au sondage.

Figure 8 Carte de la zone de collecte de données à Rosemont — La Petite-Patrie



Source : Google Map

Figure 9 Carte de la zone de collecte de données à Laval-des-Rapides



Source : Google Map

Complément 3 Représentativité de l'échantillon par sous-groupe

Voici les statistiques détaillées de la démographie des sous-échantillons et des populations associées. L'échantillon Montréal regroupe les Montréalais des échantillons 1 et 3 qui en comprennent respectivement 67 et 105 individus. Les populations d'intérêts sont l'agglomération de Montréal, le quartier Rosemont, la Ville de Laval et le quartier Laval-des-Rapides.

Les cases en rouge des tableaux suivants indiquent une différence de la variable observée de plus de 10 % entre la population de Montréal et l'échantillon Montréal, ou entre la population de Laval et l'échantillon 2.

Tableau 25 Genre par sous-groupe

Genre	Montréal	Rosemont	É. Montréal	É. 1	É. 3
	1 886 481	134 038	172	67	151
Homme	48 %	48 %	54 %	54 %	44 %
Femme	52 %	52 %	46 %	46 %	56 %
Genre	Laval	LDR	É. 2		
	401 553	36 933	51		
Homme	49 %	48 %	47 %		
Femme	51 %	52 %	53 %		

Tableau 26 Langue maternelle par sous-groupe

Langue maternelle	Montréal	Rosemont	É. Montréal	É. 1	É. 3
	1 785 935	128 345	172	67	151
Français	49 %	76 %	94 %	88 %	96 %
Anglais	17 %	4 %	3 %	4 %	2 %
Autre	34 %	20 %	3 %	7 %	2 %
Langue maternelle	Laval	LDR	É. 2		
	382 675	35 219	51		
Français	63 %	69 %	69 %		
Anglais	7 %	4 %	2 %		
Autres	30 %	27 %	29 %		

Tableau 27 Mode d'occupation par sous-groupe

Mode d'occupation	Montréal	Rosemont	É. Montréal	É. 1	É. 3
	849 440	71 190	172	67	151
Propriétaire	39 %	28 %	37 %	52 %	36 %
Locataire	61 %	72 %	49 %	39 %	47 %
Habite chez parents	N/D	N/D	14 %	9 %	17 %
Mode d'occupation	Laval	LDR	É. 2		
	154 455	16 495	51		
Propriétaire	69 %	43 %	90 %		
Locataire	31 %	57 %	6 %		
Habite chez parents	N/D	N/D	4 %		

Les copropriétaires sont inclus dans les propriétaires.

Tableau 28 Taille du ménage par sous-groupe

Taille du ménage	Montréal	Rosemont	É. Montréal	É. 1	É. 3
	849 440	71 135	172	67	151
1	39 %	50 %	17 %	19 %	15 %
2	30 %	30 %	32 %	30 %	35 %
3	14 %	11 %	24 %	22 %	22 %
4 ou 5	15 %	9 %	27 %	28 %	28 %
6 ou plus	2 %	1 %	1 %	0 %	1 %
Taille du ménage	Laval	LDR	É. 2		
	154 473	16 447	51		
1	26 %	38 %	22 %		
2	32 %	33 %	37 %		
3	16 %	14 %	10 %		
4	17 %	10 %	12 %		
5	6 %	4 %	16 %		
6 ou plus	3 %	2 %	4 %		

Tableau 29 Tranche d'âge par sous-groupe

Tranche d'âge	Montréal	Rosemont	É. Montréal
	1 886 481	134 038	172
Nombre d'enfants	350 359	20 009	0
Nombre d'adultes	1 536 111	114 031	172
18 à 24 ans	12 %	10 %	37 %
25 à 39 ans	28 %	35 %	25 %
40 à 54 ans	26 %	25 %	22 %
55 à 64 ans	15 %	13 %	9 %
65 ans et plus	19 %	17 %	7 %
Tranche d'âge	Laval	LDR	É. 2
	401 553	36 933	51
Nombre d'enfants	85 811	6 176	0
Nombre d'adultes	315 742	30 757	51
18 à 24 ans	11 %	12 %	0 %
25 à 39 ans	23 %	25 %	22 %
40 à 54 ans	30 %	25 %	20 %
55 à 64 ans	15 %	15 %	24 %
65 ans et plus	20 %	23 %	35 %

Tableau 30 Niveau de scolarité par sous-groupe

Scolarité	Montréal	Rosemont	É. Montréal	É. 1	É. 3
	1 054 460	82 970	172	67	151
Aucun diplôme	12 %	11 %	1 %	1 %	1 %
Secondaire	18 %	15 %	6 %	9 %	7 %
Collégial	27 %	29 %	16 %	22 %	11 %
Premier cycle	28 %	30 %	48 %	36 %	50 %
Cycles supérieurs	15 %	16 %	30 %	31 %	31 %
Scolarité	Laval	LDR	É. 2		
	215 470	38 640	51		
Aucun diplôme	13 %	15 %	10 %		
Secondaire	21 %	20 %	14 %		
Collégial	42 %	41 %	24 %		
Premier cycle	17 %	16 %	31 %		
Cycles supérieurs	8 %	8 %	22 %		

Les données sur la population comprennent les personnes âgées de 25 à 64 ans selon leur plus haut certificat, diplôme ou grade. Les catégories Collégial, Premier cycle et Supérieur au premier cycle incluent les certificats ou diplômes, respectivement, de niveau : non universitaires, universitaires de premier cycle et universitaires de deuxième ou troisième cycle.

Tableau 31 Revenu avant impôts du ménage par sous-groupe

Revenu brut du ménage	Montréal	Rosemont	É. Montréal	É. 1	É. 3
	849 445	71 190	172	67	151
Moins de 24 999 \$	28 %	31 %	23 %	19 %	21 %
Entre 25 000 et 49 999 \$ ¹	28 %	31 %	19 %	19 %	18 %
Entre 50 000 et 69 999 \$ ²	14 %	14 %	15 %	18 %	12 %
Entre 70 000 et 99 999 \$ ³	14 %	12 %	18 %	22 %	17 %
Plus de 99 999 \$ ⁴	16 %	12 %	23 %	16 %	30 %
Sans réponse	S.O.	S.O.	3 %	4 %	3 %
Revenu brut du ménage	Laval	LDR	É. 2		
	154 465	31 650	51		
Moins de 24 999 \$	16 %	22 %	6 %		
Entre 25 000 et 49 999 \$	24 %	30 %	25 %		
Entre 50 000 et 69 999 \$	17 %	17 %	16 %		
Entre 70 000 et 99 999 \$	20 %	16 %	22 %		
Plus de 99 999 \$	24 %	15 %	18 %		
Sans réponse	S.O.	S.O.	14 %		

¹ Inclus la moitié des ménages entre 25 000 et 29 999 \$.

² Inclus la moitié des ménages entre 25 000 et 29 999 \$.

³ Inclus la moitié des ménages entre 60 000 et 79 999 \$.

⁴ Inclus la moitié des ménages entre 60 000 et 79 999 \$.

Complément 4 Questionnaire

Les bénéfices sociaux mentionnés uniquement dans la version 2 sont surlignés en orange.

Partie 1 : Préface

Bonjour,

Je me nomme Olivier Godard, étudiant à la maîtrise en économie appliquée à HEC Montréal. Je tiens d'abord à vous remercier de participer à cette étude. Celle-ci est réalisée sous la direction de Justin Leroux, professeur agrégé du Département d'économie appliquée, et Pierre-Olivier Pineau, professeur titulaire du Département de sciences de la décision et titulaire de la Chaire de gestion du secteur de l'énergie.

Contexte

Si le Québec a des surplus d'énergie électrique, les « pointes » de consommation posent des défis puisque plusieurs Québécois consomment de l'électricité simultanément. Cette situation est similaire au problème de congestion routière aux heures de pointe. Pour mieux gérer la demande globale d'électricité durant ces périodes, quelques programmes spécifiques sont envisagés. Un de ces programmes consiste à désactiver temporairement des chauffe-eau résidentiels.

Description du projet

Un appareil pourrait être installé sur votre chauffe-eau, permettant de l'éteindre à distance. L'objectif derrière cette mesure est de profiter du volume considérable d'eau chaude dans le réservoir de votre chauffe-eau pour décaler l'utilisation d'électricité de l'appareil hors des heures critiques. Les interruptions de chauffe-eau surviendraient lorsque la demande d'électricité est très forte, soit en temps froids d'hiver. Il y aurait environ 20 à 30 périodes d'interruptions par année²⁷. Le temps d'interruption est d'au plus deux heures²⁸. Votre chauffe-eau se réactivera automatiquement si la température de l'eau qui en sort n'est plus chaude (en dessous de 50 °C). Ainsi, les probabilités que vous manquiez d'eau chaude sont très minces, et ce, même lors des périodes d'interruptions. Considérez que ces interruptions n'auront aucun impact sur votre quotidien ou sur la qualité de l'eau.

Bénéfices privés du projet

- Réduction de la probabilité de pannes électriques lors de grands froids
- Potentiel de réduction de votre facture d'électricité

²⁷ Estimation basée sur le projet pilote d'Hydro-Québec (19 interruptions), de Buckeye Power Incorporated (49 interruptions) et de Lumbee River Electric Membership Corporation (17 interruptions)

²⁸ Selon la fonction de réactivation aléatoire issue de l'étude *Control Strategy for Domestic Water Heaters during Peak Periods and its Impact on the Demand for Electricity* par Alain Moreau (2011).

Bénéfices sociaux du projet

- Amélioration de la flexibilité et de la fiabilité du réseau électrique québécois
- Réduction des coûts de production et de distribution d'Hydro-Québec
- Gains financiers liés aux exportations vers les États-Unis

Confidentialité

Ce questionnaire a été approuvé par le Comité d'éthique de la recherche de HEC Montréal (# de projet : 2017-2431). Je serai le seul à détenir vos réponses. Celles-ci ne seront jamais diffusées individuellement. Les données agrégées publiées ne permettront pas de vous identifier. Communément à la norme en recherche, elles seront détruites dans cinq ans.

Ce projet est réalisé indépendamment d'Hydro-Québec. Il est de nature purement universitaire. Veuillez, s'il vous plaît, répondre selon vos préférences, car il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse. Vous ne serez pas pénalisé pour ne pas répondre à certaines questions. Les répondants doivent être majeurs pour participer à l'étude. Le masculin est utilisé pour alléger le texte.

Q1.1

Sous votre compréhension actuelle du projet, étant la désactivation temporaire de votre chauffe-eau, accepteriez-vous d'y participer?

- Oui
- Non
- Incertain

Partie 2 : Conditions d'implantation du projet

Q2.1

Il est possible de vous avertir quelques jours à l'avance des interruptions de votre chauffe-eau. Vous recevriez un message texte ou un courriel vous en avisant. Gardez en tête que vous ne manquerez pas d'eau chaude lors des interruptions.

Aimeriez-vous être averti des périodes d'interruptions?

- Oui
- Oui, pour une période d'adaptation
- Non
- Indifférent

Q2.2

 Si Non n'est pas sélectionné en 2.1

Quel niveau d'importance accordez-vous au fait d'être averti des interruptions?

- Très important
- Important
- Peu important
- Indifférent

Q2.3

Aimeriez-vous pouvoir refuser à l'avance les périodes d'interruptions?

- Oui
- Oui, pour une période d'adaptation
- Non
- Indifférent

Q2.4

 Si Non n'est pas sélectionné en 2.3

Quel niveau d'importance accordez-vous à l'option de pouvoir refuser des interruptions?

- Très important
- Important
- Peu important
- Indifférent

Q2.5

Aimeriez-vous avoir l'option de quitter le programme en tout temps?

- Oui
- Non
- Indifférent

Q2.6

 Si Non n'est pas sélectionné en 2.5

Quel niveau d'importance accordez-vous à l'option de pouvoir quitter le programme à tout moment?

- Très important
- Important
- Peu important
- Indifférent

Q2.7

L'installation à votre domicile prend de 20 minutes à 1 heure²⁹. Ceci omet le temps d'attente du technicien dans une fourchette de quelques heures. Tous les frais reliés à l'installation sont payés par le fournisseur.

Est-ce que le fait d'être retenu à la maison vous incommoderait?

- Oui
- Non
- Incertain

²⁹ Selon le projet pilote d'Hydro-Québec

Q2.8

 Si Non n'est pas sélectionné en 2.7

À quel niveau le fait d'être retenu à la maison pour l'installation vous incommode?

- Très inconfortant
- Inconfortant
- Peu inconfortant

Q2.9 Veuillez classer les conditions d'implantation du projet en fonction de leur importance.

1. Possibilité de refuser les interruptions
2. Possibilité de quitter le programme à tout moment
3. Horaire et temps d'installation

Partie 3 : Contrôle à distance des chauffe-eau

Q3.1

Considérez que vous pouvez refuser les périodes d'interruptions.

Percevez-vous le contrôle à distance de votre chauffe-eau comme une intrusion dans votre vie privée?

- Oui
- Non
- Incertain

Q3.2

 Si Non n'est pas sélectionné en 3.1

À quel niveau percevez-vous le projet comme une intrusion dans votre vie privée ?

- Très intrusif
- Intrusif
- Peu intrusif

Q3.3

 Si Non n'est pas sélectionné en 3.1

Croyez-vous qu'une compensation financière à la participation du programme devrait vous être offerte pour son caractère intrusif?

- Oui
- Non
- Incertain

Q3.4

 Si Non n'est pas sélectionné en 3.3

Quel montant minimum faudrait-il vous donner chaque année pour vous compenser du caractère intrusif du projet?

- Inscrivez le montant désiré par année : _____

- Cochez ici si vous jugez qu'aucune compensation financière n'est adéquate pour vous compenser du caractère intrusif.

Partie 4 : Bénéfices

Q4.1

Participer au programme améliore la fiabilité du réseau électrique lors de grands froids. Des pannes de courant peuvent ainsi être évitées.

Quel niveau d'importance accordez-vous au fait de réduire la probabilité de pannes électriques à votre domicile?

- Très important
- Important
- Peu important
- Indifférent

Q4.2

Participer au programme ne réduit pas directement votre facture d'électricité. Votre consommation d'électricité totale provenant du chauffe-eau est la même, seulement elle est répartie différemment au cours de la journée. La réduction des coûts de production et d'approvisionnement a toutefois le potentiel d'éviter des hausses futures des tarifs d'électricité.

Quel niveau d'importance accordez-vous au fait de réduire la probabilité d'une augmentation future de votre facture d'électricité?

- Très important
- Important
- Peu important
- Indifférent

Q4.3

D'un point de vue social, participer au programme permet d'améliorer le réseau électrique québécois.

Quel niveau d'importance accordez-vous au fait d'améliorer le réseau électrique du Québec?

- Très important
- Important
- Peu important
- Indifférent

Q4.4

Veuillez classer les bénéfices du projet suivants en fonction de leur importance.

1. Réduire la probabilité de pannes électriques à votre domicile
2. Réduire la probabilité d'une hausse future de votre facture d'électricité
3. Améliorer le réseau électrique québécois

Partie 5 : Mise en situation

Q5.1

Veillez lire attentivement les conditions suivantes :

- Vous pouvez quitter le programme en tout temps.
- L'installation est payée et prendra environ 30 minutes de votre temps.
- Vous serez averti de chaque interruption et pourrez les refuser.
- Vous ne recevrez aucune compensation financière.

Sous la base de ces conditions, participeriez-vous au programme?

- Oui
- Non
- Incertain

Q5.2

 Si Non n'est pas sélectionné en 5.1

Plusieurs projets de contrôle à distance d'électroménagers (principalement des chauffe-eau et des climatiseurs) sont déjà implantés dans d'autres pays. Aux États-Unis, la participation à ces projets est généralement récompensée financièrement.

Est-ce que cette information change votre avis quant à la participation au projet sans compensation financière?

- Oui
- Non

Q5.3

 Si Non ou Incertain est sélectionné en 5.1

 Si Oui est sélectionné en 5.1 et en 5.2

En vous offrant une compensation financière, envisageriez-vous de participer au projet?

- Oui
- Non
- Incertain

Q5.4

 Si Non n'est pas sélectionné en 5.3

De combien doit être la compensation financière minimale pour que vous participiez au programme?

- Inscrivez le montant désiré par année : _____
- Cochez ici si vous participiez au projet sans compensation financière

Q5.5

 Si Inscrivez le montant désiré par année est sélectionné en 5.4

Quelle (s) variable (s) justifie selon vous une compensation financière?

- Temps d'installation
- Caractère d'intrusion dans la vie privée
- Amélioration du réseau électrique
- Autre : _____

Q5.6

 Si Inscrivez le montant désiré par année est sélectionné en 5.4
Y a-t-il d'autres facteurs pour lesquels vous jugeriez adéquat d'être compensé
financièrement?
[Réponse ouverte]

Partie 6 : Déterminants de participation

Q6.1

Quels aspects du projet affectent le plus votre choix d'y participer? Veuillez glisser le
 curseur pour donner une valeur entre 1 et 7.

[Une cote d'importance entre 1 et 7 était inscrite pour chaque variable]

- Option de refuser les interruptions
- Option de quitter le programme
- Horaire et temps d'installation
- Réduire la probabilité de pannes électriques à votre domicile
- Réduire la probabilité d'une hausse future de votre facture d'électricité
- **Améliorer le réseau électrique du Québec**
- Caractère intrusif
- Compensation financière

Q6.2

Y a-t-il des aspects non traités dans le questionnaire qui influenceraient votre choix de
participer au projet?

[Réponse ouverte]

Partie 7 : Programme obligatoire

Q7.1

Si ce programme de désactivation des chauffe-eau devenait obligatoire, paieriez-vous
pour ne pas que l'on contrôle votre chauffe-eau?

- Oui
- Non
- Incertain

Q7.2

 Si Non n'est pas sélectionné en 7.1
Quel montant maximal seriez-vous prêt à payer chaque année pour ne pas participer au
programme de contrôle à distance de chauffe-eau?

- Inscrivez le montant : _____

Partie 8 : Profil du répondant

Merci beaucoup de votre patience. Les dernières questions du sondage serviront uniquement à des fins de classification. Je vous rappelle que les données sont confidentielles et qu'elles ne permettront pas de vous identifier. Le sondage est approuvé par le Comité d'éthique de la recherche de HEC Montréal (# de projet : 2017-2431).

Q8.1

Par quel moyen avez-vous été approché pour répondre au questionnaire?

- Porte-à-porte
- Par courriel ou message privé provenant directement d'Olivier Godard
- Par courriel ou message privé d'une autre personne
- À travers la Chaire de gestion du secteur de l'énergie HEC Montréal
- Autre : _____

Q8.2

Dans quelle région administrative du Québec habitez-vous?

- Montréal
- Abitibi-Témiscamingue
- Bas-Saint-Laurent
- Capitale-Nationale
- Centre-du-Québec
- Chaudière-Appalaches
- Côte-Nord
- Estrie
- Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine
- Lanaudière
- Laurentides
- Laval
- Mauricie
- Montérégie
- Nord-du-Québec
- Outaouais
- Saguenay-Lac-Saint-Jean

Q8.3

Quel est votre sexe?

- Femme
- Homme

Q8.4

Quelle est votre langue maternelle?

- Français
- Anglais
- Autre, veuillez préciser : _____

Q8.5

Quelle tranche d'âge représente votre situation?

- Moins de 18 ans
- Entre 18 et 24 ans
- Entre 25 et 39 ans
- Entre 40 et 54 ans
- Entre 55 et 64 ans
- Plus de 64 ans

Q8.6

Quelle tranche de revenu annuel (avant impôt) représente la situation de votre ménage?

- Moins de 24 999 \$
- Entre 25 000 \$ et 49 999 \$
- Entre 50 000 \$ et 69 999 \$
- Entre 70 000 \$ et 99 999 \$
- Entre 100 000 \$ et 299 999 \$
- Plus de 300 000 \$
- Je ne désire pas répondre

Q8.7

Quel niveau d'études complétées représente votre situation?

- Études secondaires non achevées
- Secondaire (formation générale ou professionnelle)
- Collégial (formation préuniversitaire ou technique)
- Universitaire de premier cycle (baccalauréat, certificat ou équivalent)
- Universitaire de deuxième cycle (maîtrise, DESS ou équivalent)
- Universitaire de troisième cycle (doctorat)

Q8.8

Êtes-vous membre d'une association ayant des visées sociales ou environnementales?

- Oui
- Non
- Je ne désire pas répondre

Q8.9

Quel type de logement occupez-vous?

- Maison (unifamilial ou « plex »)
- Appartement dans un bloc de cinq logements ou moins
- Appartement dans un bloc de plus de cinq logements
- Habitation à loyer modique
- Condominium
- Résidence pour personnes âgées
- Autre, veuillez préciser : _____

Q8.10

Êtes-vous propriétaire de votre lieu de résidence?

- Oui
- Non
- Copropriétaire
- J'habite chez mes parents

Q8.11

 Si Oui ou Copropriétaire est sélectionné en 8.10

Pourriez-vous obtenir l'accord du propriétaire (ou des autres copropriétaires) pour participer au projet de chauffe-eau à charge interruptible?

- Oui
- Non
- Je n'en suis pas certain

Q8.12

Participez-vous à payer la facture d'électricité dans votre ménage?

Oui

Non

Q8.13

 Si Oui est sélectionné en 8.12

Devez-vous payer un certain montant par mois pour la location de votre chauffe-eau?

- Oui
- Non
- Je ne sais pas

Q8.14

Combien de personnes vivent dans votre ménage et consomment de l'électricité payée par la même facture?

- Veuillez écrire le nombre en vous incluant : ____

Q8.15

Votre ménage dispose-t-il d'un compteur intelligent?

- Oui
- Non
- Je ne sais pas

Q8.16

Quel type de chauffe-eau est utilisé à votre domicile?

- Électrique
- Gaz naturel
- Autre, veuillez spécifier : _____
- Je ne sais pas

Q8.17

Quelle est la capacité de réservoir de votre chauffe-eau?

- 180 litres (40 gallons)
- 270 litres (60 gallons)
- Autre, veuillez préciser : _____
- Je ne sais pas

Mot de remerciement

Figure 10 Énergie totale consommée par le chauffe-eau avec interruptions

<i>Table 3: 24 h overall energy used in kWh by an electrical water tank as a function of tank turnover</i>						
T	EXP	TYPE 4	TYPE 60	TYPE 534	TYPE 340	TYPE 38
0	1.98	1.40	1.77	1.77	1.78	1.38
0.8	12.83	10.57	17.08*	10.76	10.78	10.49
1.3	18.57	15.18	21.96*	15.47	15.47	15.19
1.7	23.83	19.85	26.36*	20.10	20.10	19.83

* Errors occurred at certain time step during simulation.

Source : Allard et al. (2011)

- T : ratio du volume (L) d'eau chaude utilisée quotidiennement en fonction du volume du réservoir uniforme (270L)
- L'acronyme EXP représente la consommation d'un chauffe-eau sans technologie de débranchement.
- Les profils de consommation d'eau chaude considérés sont de 0, 220, 335 ou 450 L/jour.
- Tels qu'illustrés, les résultats des modèles de contrôle TRNSYS Type 4, 534, 340 et 38 sont positifs : l'énergie totale consommée en une journée est inférieure qu'en cas expérimental sans interruption.
- En raison de la vitesse des flux d'eau sortants (10 L/minute), le modèle Type 60 n'a pas pu être testé correctement. La vitesse de flux devrait être diminuée à 2 L/heure pour éliminer ces erreurs de simulation.

Complément 5 Bénéfices du projet pilote de chauffe-eau interruptibles

Pour connaître les motifs de participation des employés d'Hydro-Québec au projet pilote de chauffe-eau à charge interruptible, une enquête de satisfaction a été déployée auprès de groupe de participants. Suite à l'essai de la technologie, les variables suivantes ont été cotées sur une échelle de 1 à 10 en fonction leur importance quant au choix de s'enrôler dans un projet similaire à l'échelle nationale :

- Participer à un mouvement positif pour la société (7,7)
- Contribution à aider l'environnement (6,9)
- Éviter les pannes d'électricité lors de grands froids (6,8)
- Incitatif financier personnel (6,3) :
 - Économies monétaires potentielles (5,6)
 - Diminuer votre propre facture d'électricité (6,3)
 - Éviter augmentation tarifs futurs (7,1)
- Dans l'intérêt d'Hydro-Québec (4,6)
 - Augmenter les profits d'Hydro-Québec (3,3)
 - Diminuer les coûts d'Hydro-Québec (5,9)

Source : Annexe A de la pièce Hydro-Québec (2015 b).

Dans le mémoire, les bénéfices ont été regroupés ainsi :

- Bénéfices privés
 - Compensation financière
 - Réduction de la probabilité d'une hausse future de votre facture d'électricité
 - Réduction de la probabilité de panne à votre domicile
- Amélioration du système électrique québécois
 - Amélioration de la flexibilité et de la fiabilité du réseau électrique québécois
 - Réduction des coûts de production et de distribution d'Hydro-Québec
 - Gains financiers liés aux exportations vers les États-Unis

ANNEXE E RÉSULTATS

Tableau 32 Résultats du modèle *complet*

Variables	RRR	Coefficients	Écart-types	z	p-values	Intervalles de confiance	
269 observations							
<i>non_intéressé</i>							
<i>averti</i>	0,51	-0,67	0,91	-0,74	0,46	-2,45	1,10
<i>instal</i>	8,36	2,12	0,71	2,98	0,00	0,73	3,52
<i>intru</i>	20,41	3,02	0,75	4,03	0,00	1,55	4,48
<i>cint</i>	3,98	1,38	0,80	1,73	0,08	-0,18	2,94
<i>panne</i>	0,10	-2,26	0,97	-2,33	0,02	-4,17	-0,36
<i>facture</i>	0,12	-2,08	0,93	-2,25	0,03	-3,90	-0,27
<i>français</i>	0,07	-2,68	0,90	-2,97	0,00	-4,45	-0,91
<i>scol</i>							
Aucun	2,76	1,01	1,68	0,60	0,55	-2,29	4,32
Secondaire	7,77	2,05	1,10	1,86	0,06	-0,11	4,21
Collégial	3,41	1,23	0,93	1,32	0,19	-0,60	3,05
Cycles_sup	1,82	0,60	0,93	0,64	0,52	-1,22	2,42
<i>age</i>							
18-24	10,15	2,32	1,34	1,73	0,08	-0,30	4,94
25-39	4,27	1,45	1,32	1,10	0,27	-1,14	4,04
40-54	10,37	2,34	1,20	1,95	0,05	-0,01	4,69
>64	16,00	2,77	1,34	2,07	0,04	0,15	5,40
<i>entrevue</i>	1,26	0,23	0,78	0,30	0,77	-1,29	1,75
Constante	0,41	-0,89	1,69	-0,53	0,60	-4,20	2,42
<i>compensé</i>							
<i>averti</i>	0,45	-0,79	0,38	-2,07	0,04	-1,54	-0,04
<i>instal</i>	1,86	0,62	0,32	1,93	0,05	-0,01	1,25
<i>intru</i>	5,80	1,76	0,36	4,91	0,00	1,06	2,46
<i>cint</i>	0,87	-0,14	0,39	-0,37	0,71	-0,90	0,62
<i>panne</i>	0,34	-1,09	0,59	-1,86	0,06	-2,24	0,06
<i>facture</i>	0,76	-0,27	0,58	-0,47	0,64	-1,40	0,86
<i>français</i>	0,83	-0,19	0,52	-0,36	0,72	-1,20	0,83
<i>scol</i>							
Aucun	0,84	-0,17	1,09	-0,16	0,87	-2,30	1,96
Secondaire	1,23	0,20	0,59	0,34	0,73	-0,95	1,36
Collégial	1,90	0,64	0,43	1,50	0,14	-0,20	1,48
Cycles_sup	2,06	0,72	0,37	1,95	0,05	0,00	1,45
<i>age</i>							
18-24	4,70	1,55	0,58	2,69	0,01	0,42	2,67

25-39	4,04	1,40	0,56	2,49	0,01	0,30	2,49
40-54	3,00	1,10	0,56	1,96	0,05	0,00	2,20
>64	5,72	1,74	0,64	2,71	0,01	0,48	3,00
<i>entrevue</i>	1,81	0,59	0,33	1,79	0,07	-0,05	1,24
Constante	0,51	-0,67	1,04	-0,64	0,52	-2,71	1,37

Tableau 33 Résultats du modèle *PAP*

Variables	RRR	Coefficients	Écart-types	<i>z</i>	<i>p-values</i>	Intervalle de confiance	
118 observations							
<i>non intéressé</i>							
<i>instal</i>	8,58	2,15	0,84	2,57	0,01	0,51	3,79
<i>intru</i>	9,92	2,29	0,83	2,78	0,01	0,68	3,91
<i>cint</i>	0,63	-0,46	0,96	-0,48	0,63	-2,34	1,42
<i>panne</i>	0,04	-3,19	1,33	-2,41	0,02	-5,79	-0,60
<i>revenu</i>							
25-49k	0,12	-2,15	1,40	-1,54	0,12	-4,88	0,59
50-69K	0,09	-2,36	1,29	-1,84	0,07	-4,88	0,15
70-99K	0,15	-1,90	1,12	-1,69	0,09	-4,11	0,30
>99K	0,00	-16,35	897,45	-0,02	0,99	-1775,31	1742,61
Sans réponse	0,37	-0,99	1,48	-0,67	0,50	-3,88	1,90
Constante	4,35	1,47	1,46	1,00	0,32	-1,40	4,34
<i>compensé</i>							
<i>instal</i>	1,85	0,61	0,52	1,17	0,24	-0,42	1,64
<i>intru</i>	4,88	1,58	0,51	3,12	0,00	0,59	2,58
<i>cint</i>	0,35	-1,05	0,61	-1,72	0,09	-2,24	0,15
<i>panne</i>	0,10	-2,29	1,10	-2,08	0,04	-4,46	-0,13
<i>revenu</i>							
25-49k	0,86	-0,15	0,81	-0,18	0,86	-1,74	1,45
50-69K	0,23	-1,47	0,91	-1,62	0,11	-3,25	0,31
70-99K	0,38	-0,96	0,86	-1,12	0,26	-2,64	0,72
>99K	0,56	-0,57	0,85	-0,68	0,50	-2,24	1,09
Sans réponse	0,76	-0,27	1,16	-0,23	0,82	-2,55	2,01
Constante	10,71	2,37	1,26	1,89	0,06	-0,09	4,84

BIBLIOGRAPHIE

1. Allard, Y., Kummert, M., Bernier M., et Moreau, A. (2011). Intermodel Comparison and Experimental Validation of Electrical Water Heater Models in TRNSYS. *Building Simulation 2011*, Australia.
2. Arrow, K., Solow R., Portney, P. R., Learner, E. E., Radner, R., et Schuman, H. (1993). Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation. *Federal Register*, 58:10, 4601-4614.
3. Bartram, J. (2007). Legionella and the prevention of legionellosis. *World Health Organization*.
4. Boyle, K. J., Bishop, R. C., et Welsh, M. P. (1985). Starting point bias in contingent valuation bidding games. *Land economics*, 61(2), 188-194.
5. Carson, R. T., Mitchell, R. C., Hanemann, W. M., Kopp, R. J., Presser, S., et Ruud, P. A. (1992). A contingent valuation study of lost passive use values resulting from the Exxon Valdez oil spill (No. 6984). *University Library of Munich*, Germany.
6. Carson, R. T., et Hanemann, W. M. (2005). Contingent valuation. *Handbook of environmental economics*, 2, 821-936.
7. Carson, R. T. (2012). Contingent valuation: A practical alternative when prices aren't available. *The Journal of Economic Perspectives*, 26(4), 27-42
8. Casey, J. F., Kahn, J. R., & Rivas, A. A. (2008). Willingness to accept compensation for the environmental risks of oil transport on the Amazon: A choice modeling experiment. *Ecological Economics*, 67(4), 552-559.
9. Cummings, R. G., et Taylor, L. O. (1999). Unbiased value estimates for environmental goods: a cheap talk design for the contingent valuation method. *The American Economic Review*, 89(3), 649-665.
10. Davis, R. (1963). The Value of Outdoor Recreation: An Economic Study of the Marine Woods, Doctoral Dissertation in Economics, *Harvard University*.
11. Diamond, P. A., et Hausman, J. A. (1994). Contingent valuation: Is some number better than no number?. *The Journal of economic perspectives*, 8(4), 45-64.
12. Dufresne, V. (2016). The Value of DR in a Hydro-Dominated Power Grid – The Example of Quebec, Canada. *Carlton University*. Ottawa, Canada.
13. Federal Energy Regulatory Commission. (2012). 2012 Survey on Demand Response and Advanced Metering.

14. Fleming, C. M., et Bowden, M. (2009). Web-based surveys as an alternative to traditional mail methods. *Journal of environmental management*, 90(1), 284-292.
15. Flores, N. E., et Carson, R. T. (1997). The relationship between the income elasticities of demand and willingness to pay. *Journal of Environmental Economics and Management*, 33(3), 287-295.
16. Groves, R. M., Presser, S., et Dipko, S. (2004). The role of topic interest in survey participation decisions. *Public Opinion Quarterly*, 68 (1), 2-31.
17. Hausman, J. A. (2012). Contingent valuation: from dubious to hopeless. *The Journal of Economic Perspectives*, 26(4), 43-56.
18. Hsiao, C., Sun, B., et Morwitz, V. G. (2002). The role of stated intentions in new product purchase forecasting. *Advances in Econometrics*, 16, 11-28.
19. Hydro-Québec. (2015). Réponses d'Hydro-Québec Distribution à la demande de renseignements N° 5 du RNCREQ. R-3933-2015. Publié le 17 novembre 2015.
20. Hydro-Québec. (2015 b). Réponses d'Hydro-Québec Distribution à la demande de renseignements N° 1 du RNCREQ. R-3933-2015. Publié le 22 octobre 2015.
21. Hydro-Québec. (2016). Efficacité énergétique. R-3980-2016. Publié le 28 juillet 2016.
22. Hydro-Québec. (2016 b). Réponses d'Hydro-Québec Distribution à la demande de renseignements N° 2 du RNCREQ. R-3980-2016. Publié le 14 octobre 2016.
23. Johnson, T. P., et Wislar, J. S. (2012). Response rates and nonresponse errors in surveys. *Jama*, 307 (17), 1805-1806.
24. Krutilla, J. V. (1967). Conservation reconsidered. *The American Economic Review*, 57(4), 777-786.
25. McDonald, J. F., et Moffitt, R. A. (1980). The uses of *Tobit* analysis. *The review of economics and statistics*, 318-321.
26. Lindhjem, H., et Navrud, S. (2011). Are Internet surveys an alternative to face-to-face interviews in contingent valuation?. *Ecological economics*, 70(9), 1628-1637.
27. Luce, R. D. (2005). Individual choice behavior: A theoretical analysis. *Courier Corporation*.
28. McFadden, D. (1973). Conditional *logit* analysis of qualitative choice behavior.
29. Mitchell, R. C., et Carson, R. T. (1989). Using surveys to value public goods: the contingent valuation method. *Resources for the Future*.
30. Moreau, A. (2011). Control strategy for domestic water heaters during peak periods and its impact on the demand for electricity. *Energy Procedia*, 12, 1074-1082.

31. Morwitz, V. G., Steckel, J. H., et Gupta, A. (2007). When do purchase intentions predict sales?. *International Journal of Forecasting*, 23(3), 347-364.
32. Nunes, P. A., et Schokkaert, E. (2003). Identifying the warm glow effect in contingent valuation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 45(2), 231-245.
33. Nunes, P. A., de Blaeij, A. T., et van den Bergh, J. C. (2009). Decomposition of warm glow for multiple stakeholders: stated choice valuation of shellfishery policy. *Land Economics*, 85(3), 485-499.
34. Portney, P. R. (1994). The contingent valuation debate: why economists should care. *The Journal of Economic Perspectives*, 8(4), 3-17.
35. Régie de l'énergie (2017). Demande relative à l'établissement des tarifs d'électricité de l'année tarifaire 2017-2018. R-3980-2016. Publié le 1^{er} mars 2017.
36. Roy, S. (2009). L'enfouissement des réseaux câblés de distribution au centre-ville d'Hudson : une analyse coûts-bénéfices. *HEC Montréal*, Montréal.
37. Statistique Canada. Enquête nationale auprès des ménages de 2011.
38. Statistique Canada. Programme du Recensement de la population de 2011.
39. Statistique Canada. (2013). Échantillonnage probabiliste, [En ligne], [http :
//www.statcan.gc.ca/edu/power-pouvoir/ch13/prob/5214899-fra.htm#a5](http://www.statcan.gc.ca/edu/power-pouvoir/ch13/prob/5214899-fra.htm#a5), Page consultée le 15 novembre 2016.
40. Whittington, D., Briscoe, J., Mu, X., et Barron, W. (1990). Estimating the willingness to pay for water services in developing countries: a case study of the use of contingent valuation surveys in Southern Haiti. *Economic development and cultural change*, 38(2), 293-311.
41. Whittington, D. (2010). What have we learned from 20 years of stated preference research in developing countries? *Annual Review of Resource Economics*, 2 :209-36.
42. Wooldridge, J. M. (2013). Introductory econometrics: A modern approach. *Nelson Education*. Fifth Edition.
43. S. Wong, W. Muneer, S. Nazir, et A. Prieur. (2013). Designing, Operating, and Simulating Electric Water Heater Populations for the Smart Grid. Report No. 2013-136 (RP-TEC), *CanmetENERGY*, Varennes Research Centre, Natural Resources Canada.