

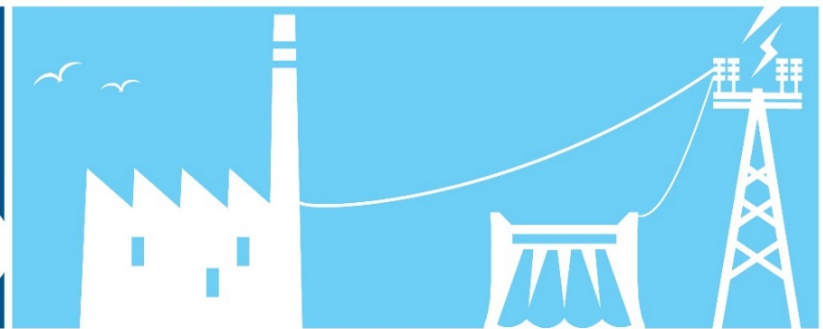


Rapport d'étude

N° 05 | 2021

Quantification du potentiel
d'efficacité énergétique du parc
de logements québécois: des
térawattheures à portée de
main !

Adrien VOEGLIN



Quantification du potentiel d'efficacité énergétique du parc de logements québécois : des térawattheures à portée de main !

Adrien VOEGLIN

Étudiant à la Maîtrise en management et développement durable, HEC Montréal

Projet d'intégration réalisé sous la supervision de Pierre-Olivier Pineau, professeur titulaire, Département de sciences de la décision, et titulaire de la Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal.

Note aux lecteurs : Les rapports d'étude de la Chaire de gestion du secteur de l'énergie sont des publications aux fins d'information et de discussion. Ils ont été réalisés par des étudiants sous la supervision d'un professeur. Ils ne devraient pas être reproduits sans l'autorisation écrite du (des) auteur(s). Les commentaires et suggestions sont bienvenus, et devraient être adressés à (aux) auteur(s).

À propos de la Chaire de gestion du secteur de l'énergie : La Chaire de gestion du secteur de l'énergie de HEC Montréal a pour mission d'augmenter les connaissances sur les enjeux liés à l'énergie, dans une perspective de développement durable, d'optimisation et d'adéquation entre les sources d'énergie et les besoins de la société. La création de cette chaire et de ce rapport est rendue possible grâce au soutien d'entreprises partenaires.

Chaire de gestion du secteur de l'énergie

HEC Montréal

3000, chemin de la Côte-Sainte-Catherine

Montréal (Québec) H3T 2A7 CANADA

energie.hec.ca

Août 2021

©2021 HEC Montréal. Tous droits réservés. Les textes publiés dans la série des rapports d'étude n'engagent que la responsabilité de(s) auteur(s)

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire exécutif	3
1. INTRODUCTION	4
2. ÉTAT DES LIEUX DU PARC RÉSIDENTIEL QUÉBÉCOIS ET DESCRIPTION DU PROJET	5
2.1 Le parc de bâtiments résidentiels québécois	5
2.1.1 Spécificités du parc de bâtiments résidentiels québécois.....	5
2.1.2 La consommation énergétique	6
2.1.3 Études précédentes sur le potentiel d'efficacité énergétique du parc résidentiel	7
2.1.4 Les politiques gouvernementales	9
2.2 Description du projet et objectifs de l'étude.....	10
3. MÉTHODOLOGIE.....	11
3.1 Outils d'analyse d' <i>Helios Exchange</i>	11
3.2 Cheminement de l'analyse	12
3.3 Données et bâtiments de références	15
3.4 Actions de performance énergétique.....	17
3.5 Méthodes d'agrégation des résultats.....	19
4. RÉSULTATS.....	21
4.1 Présentation des résultats	21
4.2 Analyse des résultats	28
4.3 Analyse de sensibilité.....	30
4.4 Discussion : bénéfices connexes.....	32
4.5 Recommandations	32
5. CONCLUSION.....	35
7. ANNEXES.....	36
ANNEXE 1. Répartition de la population québécoise par zone climatique	36
ANNEXE 2. Intensité énergétique par m ² (kWh/m ² /an) par type de bâtiment par an	37
ANNEXE 3. Valeurs utilisées par le logiciel lors de la simulation énergétique des bâtiments .	38
ANNEXE 4. Économies annuelles et coûts par APE pour chaque bâtiment de la zone 6	39
ANNEXE 5. Économies annuelles et coûts par APE pour chaque bâtiment de la zone 7	40
ANNEXE 6. Prix du kWh économisé pour chaque scénario dans les zones 6 et 7 (\$/kWh)	41
ANNEXE 7. Économies (kWh/an) pour tous les bâtiments, par scénario, zones 6 et 7.....	42
ANNEXE 8. Matrice de détermination pour chacun des scénarios dans les zones 6 et 7	43
8. BIBLIOGRAPHIE	44

Sommaire exécutif

Dans cette étude, nous présentons les spécificités du parc de bâtiments résidentiels québécois. En nous concentrant sur les bâtiments chauffés à l'électricité seulement, soit environ les deux tiers du parc, nous calculons un potentiel technico-économique de la rénovation énergétique au Québec, pour différents types de bâtiment et différentes zones climatiques. La limitation de notre étude aux bâtiments électriques seulement s'explique par les ressources limitées dont nous avons disposées. En effet, la considération de tous les bâtiments du parc aurait demandé un trop grand nombre de simulations à effectuer. Dans sa forme actuelle, c'est à l'aide de l'outil de simulation énergétique d'Hélios Exchange que nous avons analysé plus de 700 scénarios de rénovation. Les résultats obtenus mettent en lumière le fort potentiel d'amélioration des bâtiments résidentiels, surtout en ce qui concerne les besoins de chauffage. Ainsi, l'amélioration de l'isolation et le remplacement des systèmes de chauffage par des thermopompes sont les scénarios aux plus forts potentiels. Dans les scénarios immédiatement rentables, ils représentent respectivement, 4,7 TWh et 5,9 TWh d'économie potentielles. Ils ne peuvent néanmoins pas être additionnés puisqu'ils touchent tous deux le comportement thermique du bâtiment. Le remplacement de l'éclairage permettrait quant à lui d'économiser 1,25 TWh à un très faible coût. Ces constats coïncident avec des études précédemment réalisées par différents acteurs de l'énergie au Québec. Nous mettons cependant davantage en lumière l'importance de considérer les spécificités de chacune des situations afin d'optimiser la performance de futurs programmes d'efficacité énergétique. Nos résultats permettent aussi de constater un potentiel différent pour les zones climatiques 6 (plus au sud) et 7 (plus au nord). Enfin, nous soulignons l'importance du rôle du financement, puisque un taux d'intérêt de 0 % double les économies d'énergie des scénarios rentables par rapport à 3 %.

1. INTRODUCTION

La crise du COVID 19 et les confinements à répétition ont mis en lumière un point central dans notre vie : notre chez-soi. En effet, le logement a un rôle fondamental dans la vie de l'humain et nous y passons un temps non négligeable pour répondre à nos besoins essentiels : s'y reposer, s'alimenter, se laver, y travailler, etc. Une température ambiante agréable dans nos logements est vitale. Au cœur du débat énergétique, il est donc intéressant de s'atteler à l'analyse de l'état de la consommation énergétique résidentielle. Cela est d'autant plus nécessaire que nous devons entamer une transition énergétique qui sera grandement facilitée par une réduction de la consommation totale d'énergie. À lui seul, le secteur résidentiel représente 20 % de la consommation énergétique des 30 pays membres de l'AIE (AIE, 2016). Au Québec, selon le rapport de *l'État de l'énergie au Québec 2021*, le secteur résidentiel représente 18 % de l'énergie totale consommée en 2018. Il est donc important de viser à diminuer cette consommation pour libérer, lorsque possible, de l'énergie pour d'autres usages.

Dans cette étude nous visons à mettre en lumière les gisements potentiels d'efficacité énergétique du parc résidentiel québécois, afin de proposer des recommandations d'optimisation aux différents acteurs de l'énergie au Québec.

Dans un premier temps, nous faisons un état des lieux des conditions du parc résidentiel québécois dans lequel nous définirons les objectifs de notre étude. Dans un second temps, nous présentons et détaillons la méthodologie et les outils utilisés. Finalement, nous présentons nos résultats, les analysons et proposons des recommandations.

2. ÉTAT DES LIEUX DU PARC RÉSIDENTIEL QUÉBÉCOIS ET DESCRIPTION DU PROJET

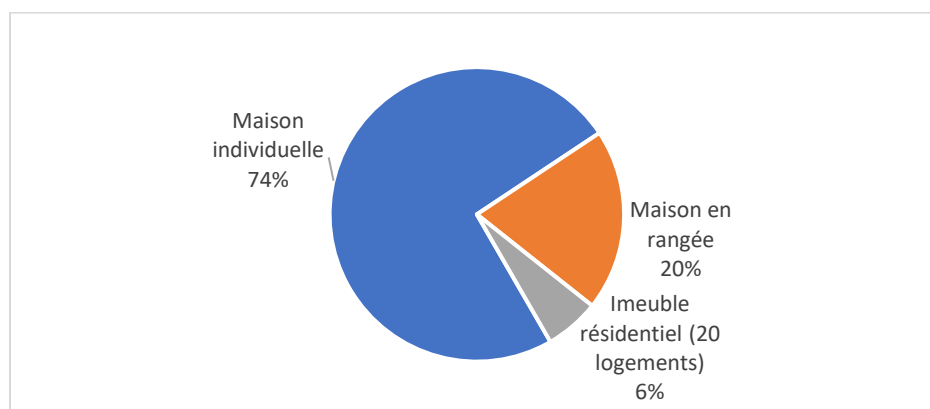
2.1 Le parc de bâtiments résidentiels québécois

2.1.1 Spécificités du parc de bâtiments résidentiels québécois

Les données présentées viennent de la base de données nationale sur la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel pour 2018, soit la dernière année disponible au moment de réaliser cette étude (Ressources naturelles Canada, 2021).

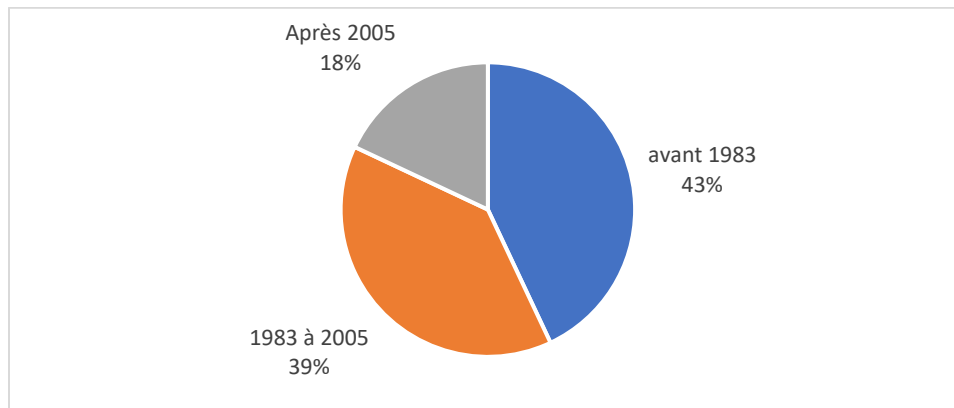
Le parc de bâtiments résidentiels québécois est largement basé sur un modèle nord-américain où la maison individuelle est reine. C'est ce que l'on peut constater dans la figure 1 ci-dessous. Les maisons individuelles représentent 74 % du total des bâtiments. Vient ensuite les maisons en rangée avec 20 % du total et les immeubles avec 6 %. Notez cependant que pour les immeubles résidentiels nous considérons qu'ils regroupent en moyenne 20 logements par bâtiment. En conséquence, si l'on considère le nombre total de logements et non simplement le nombre de bâtiments, ce sont les logements situés dans des immeubles qui sont majoritaires avec 54% du total des logements au Québec.

Figure 1 : Part des types de bâtiment dans le nombre total de bâtiments au Québec, 2018



Pour ce qui est de l'âge de construction, 43 % des bâtiments ont été construits avant 1983, 39 % de 1983 à 2005 et 18 % après 2005. C'est ce que nous pouvons constater dans la figure 2 ci-dessous.

Figure 2 : Part des bâtiments dans le parc résidentiel québécois en fonction de leur date de construction, 2018



En ce qui concerne les énergies consommées par les bâtiments résidentiels québécois, la majorité utilise de l'électricité uniquement. En effet, même si certains se chauffent à l'aide de combustible, 67 % des bâtiments utilisent l'électricité pour la totalité de leurs besoins énergétiques. L'étude réalisée ici va se pencher exclusivement sur ces bâtiments chauffés à l'électricité.

2.1.2 La consommation énergétique

Lorsque nous analysons la consommation énergétique du parc résidentiel, nous remarquons rapidement que le plus gros poste de consommation est le chauffage. Comme nous pouvons le constater dans le tableau 1, le chauffage représente en moyenne 68 % de l'énergie totale consommée. Cette part prédominante du chauffage peut aisément s'expliquer par la rudesse du climat québécois. En effet, au plus fort de l'hiver, il n'est pas rare d'enregistrer des températures négatives avoisinant les -30°C et ce pendant plusieurs jours. En seconde position viennent les équipements électriques communément appelés « électroménagers », puis l'eau chaude sanitaire et enfin, dans une faible proportion, l'éclairage et la climatisation. En effet, en 2018 seule 28 % de la surface totale du parc résidentiel québécois est climatisée.

Lorsque l'on observe l'intensité énergétique moyenne, soit les kilowattheures par mètre carré par an (kWh/m²/an), des différents types d'habitation, la maison individuelle est la plus énergivore, alors que l'immeuble résidentiel est le plus performant.

Tableau 1 : Répartition de la consommation énergétique par type de bâtiment

	Maison individuelle	Maison en rangée	Immeuble résidentiel
Chauffage	69,7%	59,1%	59,0%
Eau chaude sanitaire	11,4%	15,8%	15,8%
Équipement électriques	12,9%	18,0%	21,7%
Éclairage	4,2%	4,7%	2,7%
Climatisation	2,0%	2,4%	0,8%
Consommation totale Intensité énergétique(kWh/m²/an)	255,6	200	172,2

Ces informations nous permettent d'avoir une représentation du profil énergétique du parc résidentiel québécois. Mais qu'en est-il du potentiel d'efficacité énergétique qui en découle ?

2.1.3 Études précédentes sur le potentiel d'efficacité énergétique du parc résidentiel

Afin de répondre à cette question, des études ont été réalisées par différents acteurs du secteur énergétique québécois. Notre attention a été retenue par deux d'entre elle : Boyer (2016) et Technosim (2010).

L'étude, *Le potentiel technico-économique de réduction des émissions de GES du secteur résidentiel au Québec*, réalisée par Denis Boyer, s'appuie sur des données de consommation et des caractéristiques bâtementaires pour calculer le potentiel d'efficacité énergétique au Québec en 2016. L'étude statistique principalement utilisée est *l'enquête auprès des ménages sur la consommation énergétique* menée en 2011 par *Statistique Canada*. Notre approche est comparable à celle utilisée dans cette étude puisque nous normalisons les bâtiments du parc résidentiel pour pouvoir analyser, à l'aide de simulations énergétiques, les économies d'énergie réalisable. En

revanche, notre technique d'analyse - qui porte massivement sur la simulation énergétique - et les outils que nous utilisons diffèrent. Nous simulons chaque bâtiment type dans son ensemble alors que cette étude traite l'enveloppe et les systèmes séparément. De plus, les actions de performance énergétique utilisées s'inspirent d'une étude de 2005 présentée dans le prochain paragraphe. Les données que nous avons utilisées sont plus récentes et représentent mieux les conditions actuelles du marché. Elles sont néanmoins strictement limitées aux bâtiments n'utilisant que de l'électricité. Selon cette étude menée en 2016, environ 30 TWh d'énergie pourrait être économisé. Il semblerait donc que les effets croisés entre les différents types de rénovation n'aient pas été correctement considérés puisque selon nos résultats, nous obtenons approximativement le même potentiel en additionnant chacun de nos scénarios. Nous expliquerons plus tard pourquoi cette addition ne peut être réalisée.

La seconde étude, *Potentiel technico-économique d'économie électrique au Québec, secteurs résidentiel, commercial et institutionnel et agricole*, réalisée par l'entreprise Technosim, utilise quant à elle des techniques d'analyse et de calcul plus primaires. Les informations proposées ne sont pas basées sur des simulations énergétiques et les hypothèses de calculs ne sont pas présentées clairement. L'étude ne divulgue que des résultats globaux et la méthodologie utilisée est vague, ce qui nous amène à questionner la pertinence de celle-ci. Selon l'étude, le potentiel d'efficacité énergétique s'élève à 8,4 TWh sur 5 ans et 9,13 TWh sur 10 ans. Ces résultats ne peuvent être comparés aux nôtres puisque les économies d'énergie calculées dans notre analyse sont établies sur toute la durée de vie des rénovations effectuées, même s'ils sont présentés sur une base annuelle. Par exemple, les économies dû à l'amélioration de la façade d'un bâtiment seront calculées sur 30 ans mais présentées en fonction de la réduction annuelle. De plus, l'étude date initialement de 2005 et a été mise à jour en 2010. Notre étude propose une approche plus détaillée

dans les calculs des gisements d'efficacité énergétique et utilise des informations techniques plus récentes.

Nous pouvons d'ores et déjà constater qu'il n'existe pas de mise à jour fréquente du potentiel technico-économique d'économie d'énergie dans le secteur résidentiel. Une mise à jour tous les cinq ans semble nécessaire pour bien cerner l'évolution du parc et de ses enjeux.

2.1.4 Les politiques gouvernementales

Dans un contexte où le réchauffement climatique gagne toujours un peu plus de terrain, les gouvernements se doivent de mettre en place un cadre favorable à la diminution de l'impact des activités humaines sur l'environnement.

Dans cette optique, le gouvernement du Québec a mis en place un Plan directeur en transition, innovation et efficacité énergétiques du Québec 2018 – 2023 (prolongé jusqu'en 2026) (MERN, 2018). L'un des principaux objectifs de ce plan consiste à améliorer de 1% par année l'efficacité énergétique moyenne de la province. Pour ce faire il vise la mise en place de programmes incitatifs à la rénovation énergétique dans les secteurs de l'industrie, du commercial et du résidentiel. Les programmes phares dans le secteur résidentiel sont *Rénoclimat* et *Chauffer vert*. Le premier propose des aides financières lorsque l'isolation du logement est améliorée et le second lorsque le système de chauffage polluant est remplacé par une thermopompe. Notez cependant que les aides attribuées par le gouvernement ne sont pas ciblées selon les zones climatiques, l'âge ou les types de bâtiments et sont faibles comparativement aux coûts de rénovation. Elles ne sont aussi pas accompagnées de réglementations contraignantes. Cette situation témoigne malheureusement du manque d'ambitions des politiques gouvernementales et nous espérons, à travers cette étude, proposer des nouveaux axes de réflexion.

2.2 Description du projet et objectifs de l'étude

Notre étude vise à évaluer le potentiel d'efficacité énergétique des bâtiments résidentiels québécois chauffés à l'électricité, à travers différentes « actions de performance énergétique », qui sont autant de scénarios de rénovation. L'analyse de ces actions porte à la fois sur l'aspect énergétique, soit les kilowattheures à économiser et l'aspect économique, soit les coûts induits par ces actions. Cette évaluation globale du parc résidentiel québécois permet de mettre en lumière les types de rénovations les plus optimales. Nous entendons par cela les travaux qui permettent les gains énergétiques les plus élevés à des coûts les plus bas possibles. Ainsi, les résultats qui émanent de calculs énergétiques complexes, nous permettent d'axer notre réflexion et d'émettre des recommandations à l'attention des différents acteurs de l'efficacité énergétique au Québec. Cependant, il est important de souligner que, dans le but de standardiser notre approche et de traiter un volume important de données, nos calculs sont basés sur des hypothèses et des valeurs typiques permettant de constituer des bâtiments de référence, et non pas sur les valeurs tirées de bâtiments spécifiques. Nos résultats doivent être utilisés à des fins d'orientation dans les choix de programmes d'efficacité énergétique et ne peuvent pas être appliqués directement à un cas concret.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 Outils d'analyse d'*Helios Exchange*

La réalisation de cette étude a été possible grâce aux outils d'analyse énergétique de l'entreprise *Helios Exchange*. En combinant les meilleurs procédés analytiques disponibles à ce jour et en les simplifiant, *Helios Exchange* se donne pour mission d'accompagner les différents acteurs de la rénovation énergétique. En effet, les services disponibles sur l'application en ligne s'articulent autour d'un outil de simulation thermique dynamique EESIM (Energy Efficiency Simulator) et permettent d'estimer le potentiel technico-économique d'amélioration de la performance énergétique d'un bâtiment.

*« La simulation thermique dynamique permet d'estimer les besoins thermiques (énergie utile en chaud et froid) du bâtiment en exploitation en tenant compte de l'enveloppe du bâtiment et de son inertie, des divers apports thermiques, du comportement des occupants et du climat local »
(Peuportier Bruno, 2015)*

L'outil EESIM utilise le calculateur mondialement connu, Design Builder (Design Builder Software Ltd, 2021). Il le simplifie pour permettre une analyse plus rapide et plus accessible. Cette simplification a été méthodiquement réalisée pour préserver un maximum de précision tout en diminuant considérablement le temps et le coût de l'analyse. Combiné à cet outil, *Helios Exchange* dispose de bibliothèques de données techniques visant à définir rapidement les caractéristiques d'un bâtiment. En effet, ces données sont souvent méconnues ou difficiles d'accès dans les bâtiments existants et sont essentielles à la réalisation d'une simulation thermique dynamique. En se basant sur la zone climatique, la date de construction et les énergies utilisées, la plateforme simule la performance énergétique des bâtiments de référence. La caractérisation de ces bâtiments peut être raffinée avec l'information technique disponible.

Dans un second temps, il est possible de simuler des rénovations à l'aide d'une bibliothèque personnalisable de travaux (les actions de performance énergétique) et d'en estimer le potentiel

énergétique et économique. Les rénovations sélectionnées pourront également être soumises à un outil d'analyse de risque. Finalement, *Helios* permet de réaliser un suivi post-travaux des économies réelles. Cette mesure et vérification répond aux exigences de nombreux protocoles tels que le protocole IPMVP¹ mondialement utilisé dans des projets d'efficacité énergétique. Cette dernière option n'est cependant pas utilisée dans le cadre de ce travail purement évaluatif.

Dans notre étude nous utilisons l'outil EESIM et simulons des rénovations possibles pour les 27 types de bâtiments de références choisis, pour chacune de deux zones climatiques où la plupart de la population québécoise réside. Nous simulons donc un total de 54 bâtiments différents pour lesquels nous testons le potentiel de 13 actions d'efficacité énergétique différentes pouvant mener à des améliorations d'efficacité énergétique. Les résultats obtenus consistent donc en 702 (54x13) réductions de consommation et coûts, caractérisant l'impact de chaque action possible sur chaque bâtiment.

3.2 Cheminement de l'analyse

Rappel important : Afin de limiter la complexité de l'étude, nous avons choisi d'analyser les bâtiments n'utilisant que l'énergie électrique. Ils représentent 67 % du parc, soit environ 1,2 millions de bâtiments. Ainsi, lorsque nous nous référons au parc résidentiel québécois il s'agit uniquement du parc résidentiel québécois électrique.

Pour réaliser cette étude, nous utilisons les données nécessaires les plus récentes (année 2018), venant de la base de données nationale sur la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel (Ressources naturelles Canada, 2021). À l'aide de ces données, nous définissons notre point de

¹ IPMVP: L'International Performance Measurement and Verification Protocol est un protocole créé par l'EVO (Efficiency Valuation Organisation) qui a pour but d'établir un cadre clair quant au suivi des opérations de mesurage et de vérification des consommations énergétiques. Il est mondialement utilisé et reconnu et utilisé par des organisations spécialisées dans l'énergie et plus particulièrement l'efficacité énergétique.

départ, soit l'état actuel du parc résidentiel québécois. Nous utilisons par exemple, les types de bâtiments, leur consommation énergétique, leurs années de construction et de l'information techniques les concernant. Ces informations nous permettent de présenter justement l'état du parc résidentiel québécois en 2018.

Dans le sillage de cette première étape, nous avons défini 27 bâtiments de référence visant à représenter au mieux le parc. Ces 27 bâtiments sont définis selon leur type (maison individuelle, attenante ou immeuble), leur système thermique (présence de climatisation et thermopompe) et année de construction. Voir le tableau 4 plus bas. Ils sont étudiés pour chacune des principales zones climatiques ASHRAE. Dans le cas du Québec, il en existe deux : la zone 6 dite « froide » et la zone 7 dite « très froide » (ANSI/ASHRAE/IESNA, 2007). Nous avons donc 27 bâtiments de référence situés dans deux zones climatiques soit un total de 54 bâtiments à analyser. Dans le but de déterminer le nombre de bâtiments localisés dans chacune des zones, nous avons croisé les données démographiques de chacune des régions administratives du Québec (CIRANO, 2019) avec la classification climatique ASHRAE. Le tableau complet est disponible dans l'annexe 1. Selon les résultats présentés dans le tableau 2 ci-dessous, 60 % de la population réside dans la zone 6 et 40 % dans la zone 7.

Tableau 2 : Répartition de la population par zone climatique

	Population	
Zone 6	5,063,903	60%
Zone 7	3,437,770	40%
Total	8,501,673	100%

Nous avons ensuite déterminé les caractéristiques techniques de chacun de ces bâtiments de référence. Nous pouvons citer comme exemple : la résistance thermique de l'enveloppe, le type de chauffage (plinthe ou pompes à chaleur), la présence de climatisation, l'éclairage, etc. La

détermination de ses caractéristiques a été réalisée à l'aide des bibliothèques d'*Helios Exchange*. Dans le but de refléter les habitudes de vie des utilisateurs, nous déterminons aussi un calendrier d'utilisation des bâtiments commun à tous nos modèles, reflétant les jours de travail et de vacances d'un ménage typique.

Dans la prochaine étape, nous simulons énergétiquement chacun de nos 54 bâtiments de référence. En utilisant l'outil de simulation thermique dynamique EESIM d'*Helios Exchange* et les données techniques de chacun des bâtiments types, nous créons des avatars énergétiques représentatifs du parc résidentiel étudié. Ces simulations sont réalisées en considérant les données météorologiques propres à chaque zone climatique. Les 27 bâtiments de la zone 6 sont simulés en fonction des données climatiques de Montréal. Pour les bâtiments de la zone 7, les données de la station météorologique de Rivière-le-loup ont été utilisées.

Dans l'annexe 2, l'intensité énergétique simulée pour chaque bâtiment est résumée. Lorsque nous compilons les intensités énergétiques et le nombre de bâtiments auxquelles elles se réfèrent, nous constatons que la consommation totale simulée par l'outil EESIM est très proche de la consommation énergétique de 2018 divulguée par Ressource naturelle Canada. Le tableau 3 ci-dessous en témoigne.

Tableau 3 : Intensité énergétique réelle et simulée par type de bâtiment

Consommation	kWh/m ² (RNCAN 2018)	kWh/m ² (Helios)	Différence (%)
Maisons unifamiliales	256	244	-5%
Maisons individuelles attendantes	200	197	-1%
Appartements	172	170	-1%

Malgré les nombreuses imperfections possibles dans ces estimations, nous considérerons que nos bâtiments de références (avatars) représentent adéquatement la réalité du parc résidentiel québécois étudié.

Nous utilisons alors nos modèles simulés dans *Helios Exchange* pour estimer les économies d'énergie potentiellement réalisables lors de rénovations. Pour cela nous définissons 13 actions de performance énergétique que nous prescrivons à chacun de nos modèles. Ainsi 702 situations sont analysées (13 actions possibles multipliées par 54 bâtiments de référence). Chacune d'entre elles est aussi associée à un estimé de coût fournis par l'outil Helios Exchange. Ces coûts relèvent d'importants travaux de recherche et de développement de la plateforme et sont confidentiels. Ils sont basés sur les coûts des matériaux, les équipements et la main d'œuvre et sont évidemment des estimations, donnant un ordre de grandeur et non pas la valeur exacte pour un bâtiment spécifique réel.

Enfin, nous compilons les résultats et les répartissons en fonction du poids de chacun de nos bâtiments types dans le parc résidentiel québécois. Cette agrégation des économies d'énergie et de leurs coûts nous permet d'obtenir le coût du kilowattheure économisé pour chacune des actions de rénovation énergétique. L'analyse de ces résultats nous permet de déceler le potentiel d'efficacité énergétique du parc résidentiel québécois et d'en étudier sa rentabilité.

3.3 Données et bâtiments de références

Les données de références disponibles dans la base de données nationale sur la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel (Ressources naturelles Canada, 2021) nous ont permis de dresser un tableau représentatif du parc de bâtiments résidentiels québécois. Comme présenté dans le tableau 4 suivant, à l'aide de ces données, nous avons pu définir la part de chacun de nos bâtiments de référence dans le parc.

Tableau 4 : Nombre de bâtiments de référence dans le parc résidentiel

Bâtiments électriques seulement		Avant 1983	1983-2005	Après 2005
Maison individuelle	sans climatisation	241,354	203,221	80,804
	avec climatisation	95,989	80,823	32,137
	avec thermopompe	99,688	83,938	33,375
Maison en rangée	sans climatisation	47,048	73,954	44,647
	avec climatisation	18,712	29,412	17,757
	avec thermopompe	4,896	7,696	4,646
Immeuble résidentiel	sans climatisation	25,597	12,924	11,452
	avec climatisation	10,180	5,140	4,555
	avec thermopompe	465	235	208
TOTAL		543,929	497,343	229,580

Pour ce qui est des caractéristiques techniques de nos bâtiments de référence, les données utilisées sont fournies par les bibliothèques standardisées de l’outil Helios. Chaque bâtiment dispose de ses propres caractéristiques basées sur l’information disponible soit, le type de bâtiment, l’année de construction et le type de chauffage/climatisation. La liste des types de données utilisées est disponible en annexe 3. Par souci de confidentialité, nous ne pouvons révéler que certaines valeurs. Au-delà des caractéristiques techniques, il est important de refléter le plus justement possible le comportement et les habitudes des résidents. Pour cela, nous définissons un calendrier horaire d’utilisation. Afin de considérer les déplacements journaliers, nous y avons reflété une occupation pleine de 17h à 9h du lundi au vendredi. La journée étant considérée comme une période creuse, l’utilisation des systèmes est réduite. La température de consigne retenue pour le chauffage est 21°C le jour et 19.5°C la nuit. Pour ce qui est de la climatisation, nous avons considéré une température de 22°C.

3.4 Actions de performance énergétique

Afin d'estimer le potentiel d'économie d'énergie du parc résidentiel québécois, nous sélectionnons 13 actions visant à améliorer la performance des bâtiments. Les rénovations simulées couvrent à la fois l'enveloppe et les systèmes. Nous les nommons APE.i (Action de Performance Énergétique.i), où i est le numéro de l'action de 1 à 13. Chacune de ces APE inclut dans ses coûts les frais de main d'œuvre pour son installation. Ces 13 actions sont définies dans les paragraphes qui suivent.

APE.1 ; ISOLATION DU TOIT R20 : Ajout d'une couche d'isolant en polystyrène extrudé d'une largeur de 4 pouces et d'une résistance thermique $R=20$. Le scénario privilégié ici est une isolation par l'intérieur du toit. En effet, les travaux de rénovation du toit ne sont pas comptabilisés dans le prix de cette rénovation. La durée de vie de cette rénovation est estimée à 30 ans.

APE.2 ; ISOLATION DES MURS R5 : Ajout d'une couche d'isolant en polystyrène extrudé d'une largeur de 1 pouce et d'une résistance thermique $R=5$. Le scénario privilégié ici est une isolation par l'intérieur des murs. En effet, les travaux de rénovation de façade ne sont pas comptabilisés dans le prix de cette rénovation. La durée de vie de cette rénovation est estimée à 30 ans.

APE.3 ; ISOLATION DES MURS R15 : Ajout d'une couche d'isolant en polystyrène extrudé d'une largeur de 3 pouces et d'une résistance thermique $R=15$. Le scénario privilégié ici est une isolation par l'intérieur des murs. En effet, les travaux de rénovation de façade ne sont pas comptabilisés dans le prix de cette rénovation. La durée de vie de cette rénovation est estimée à 30 ans.

APE.4 : DOUBLE VITRAGE : Remplacement des fenêtres par du double vitrage à basse émission avec chassie PVC. La valeur U utilisée pour la simulation de ces fenêtres est $1.9 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$. La durée de vie de cette rénovation est estimée à 30 ans.

APE.5 ; TRIPLE VITRAGE : Remplacement des fenêtres par du triple vitrage argon à basse émission avec chassie PVC. La valeur U utilisée pour la simulation de ces fenêtres est $1.2 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$. La durée de vie de cette rénovation est estimée à 30 ans.

APE.6 ; AMÉLIORATION DE L'ÉTANCHÉITÉ : Amélioration de l'étanchéité du bâtiment par le biais de petits travaux, colmatage, remplacement de joint, mise en place de stop froid, etc. Ce scénario ne doit pas être considéré comme de travaux de rénovation de l'enveloppe. Nous considérons une diminution du taux d'infiltration du bâtiment de l'ordre de 30%. La durée de vie de cette rénovation est estimée à 20 ans.

- APE.7 ; THERMOPOMPE : Ajout d'un système de chauffage/climatisation de type thermopompe. Système à deux éléments combinés à des plaintes électriques existantes assurant les besoins de conditionnement de la totalité du bâtiment. Ce système possède un rendement de 200%² pour le chauffage et de 380% pour la climatisation. Lorsque simulés dans un immeuble, nous considérons l'installation de système individuel dans chaque appartement. La durée de vie de cette rénovation est estimée à 15 ans.
- APE.8 ; THERMOPOMPE GÉOTHERMIQUE : Ajout d'un système de chauffage/climatisation de type thermopompe géothermique. Soit un système géothermique à deux éléments assurant les besoins de conditionnement de la totalité du bâtiment. Ce système possède un rendement de 340%³ pour le chauffage et de 480% pour la climatisation. Ce scénario n'a pas été retenu pour les immeubles. La durée de vie de cette rénovation est estimée à 20 ans.
- APE.9 ; ECLAIRAGE DEL : Remplacement de l'éclairage avec de l'éclairage à diode électroluminescente DEL. Dans ce scénario nous privilégions un simple remplacement des ampoules du bâtiment par l'utilisateur. L'intensité d'éclairage utilisé pour ce scénario est 1 Watt par mètre carré. La durée de vie de cette rénovation est estimée à 15 ans.
- APE.10 ; CAPTEUR D'OCCUPATION : Ajout d'un dispositif de contrôle de l'éclairage en fonction de l'occupation. Nous entendons par là, la mise en place de capteurs de présence dans chacune des pièces pour allumer et éteindre la lumière en fonction de leur utilisation. La durée de vie de cette rénovation est estimée à 15 ans.
- APE.11 ; CHAUFFE-EAU HAUTE EFFICACITÉ : Remplacement du système de production d'eau chaude sanitaire par un système à haut rendement, soit 95%. Il s'agit du remplacement d'un système existant encore opérationnel. Dans le cas d'un remplacement d'un système défaillant, la rentabilité de cette action aura tendance à très fortement augmenter. La durée de vie de cette rénovation est estimée à 15 ans.
- APE.12 ; ÉQUIPEMENT ENERGY STAR : Remplacement du ou des équipements électroménagers les plus énergivores par des appareils performants certifiés par Energy Star. La valeur de remplacement est évaluée à 12\$ par mètre carré. La durée de vie de cette rénovation est estimée à 12 ans.
- APE.13 ; DISPOSITIF DE GESTION INTELLIGENT : Mise en place d'un système de gestion intelligent des appareils connectés. Nous entendons par là, la mise en place de capteur de présence, le contrôle à distance des appareils, la mise en veille automatique et la mise en place de minuteurs. La durée de vie de cette rénovation est estimée à 12 ans.

² Rendement annuel moyen tenant compte de la baisse d'efficacité des thermopompes lorsque la température extérieure est inférieure à -10 degrés Celsius.

³ Rendement annuel moyen tenant compte de la baisse d'efficacité des thermopompes due à l'épuisement calorifique des sols.

Notez que chacune des actions présentées ci-dessus est normalisée, elles ne représentent donc pas des produits spécifiques. De plus, le prix de chacune des mesures ne prend pas en compte les coûts d'opération. Le caractère variable, le manque d'estimé précis et le faible impact sur le résultat final nous ont poussés à ne pas les inclure. Les mesures présentées ici ont pour vocation d'aider l'utilisateur à cibler les actions avec le plus fort potentiel. Finalement, nous avons choisi de ne pas inclure des mesures visant le comportement des utilisateurs puisque les impacts sont difficilement mesurables et dans la réalité, il n'est pas possible d'affirmer avec certitude que les comportements ont été durablement modifiés.

3.5 Méthodes d'agrégation des résultats

Après avoir simulé chacun de nos scénarios de rénovation, soit un total de 702, nous relevons les économies d'énergies et les coûts pour les répertorier en annexe 4 et 5. Nous calculons ensuite, pour chaque situation, le coût du kilowattheure économisé. Nous considérons le financement des rénovations à l'aide d'un emprunt réalisé sur la durée de vie du produit. Soit la formule suivante :

$$\text{Coût du kWh économisé} = ((C) * (1+r)^n) / (W * n)$$

C = coût de la rénovation

n = années de vie de la rénovation

r = taux d'intérêt annuel

W = nombre de kWh économisés

Le taux d'intérêt retenu dans cette étude est 3 %. Cette valeur est évidemment sujette à discussions, mais semble être représentative des taux accessibles aux consommateurs. Ces calculs nous permettent de compléter la matrice de coût du kWh économisé pour chacune des rénovations simulées disponible en annexe 6. Une analyse de sensibilité est réalisée avec un taux de 0 % pour mieux illustrer l'impact du taux de financement sur la valeur des actions d'efficacité énergétique.

Dans un second temps nous agrégeons les nombres de kWh économisés pour chaque action en multipliant la valeur obtenue pour le bâtiment de référence par le nombre de bâtiments auxquels il correspond (table 4). Cela nous permet d'identifier les situations avec le plus gros potentiel d'économie d'énergie. Le tableau résumant ces résultats se trouve en annexe 7.

Enfin, afin d'identifier rapidement quelles économies et quels prix correspondent à quels scénarios, nous créons une matrice de détermination où chaque scénario se voit attribuer un code clef. Cette technique nous permettra de faire ressortir les scénarios présentant le plus gros potentiel d'efficacité énergétique. Cette matrice est disponible en annexe 8.

4. RÉSULTATS

4.1 Présentation des résultats

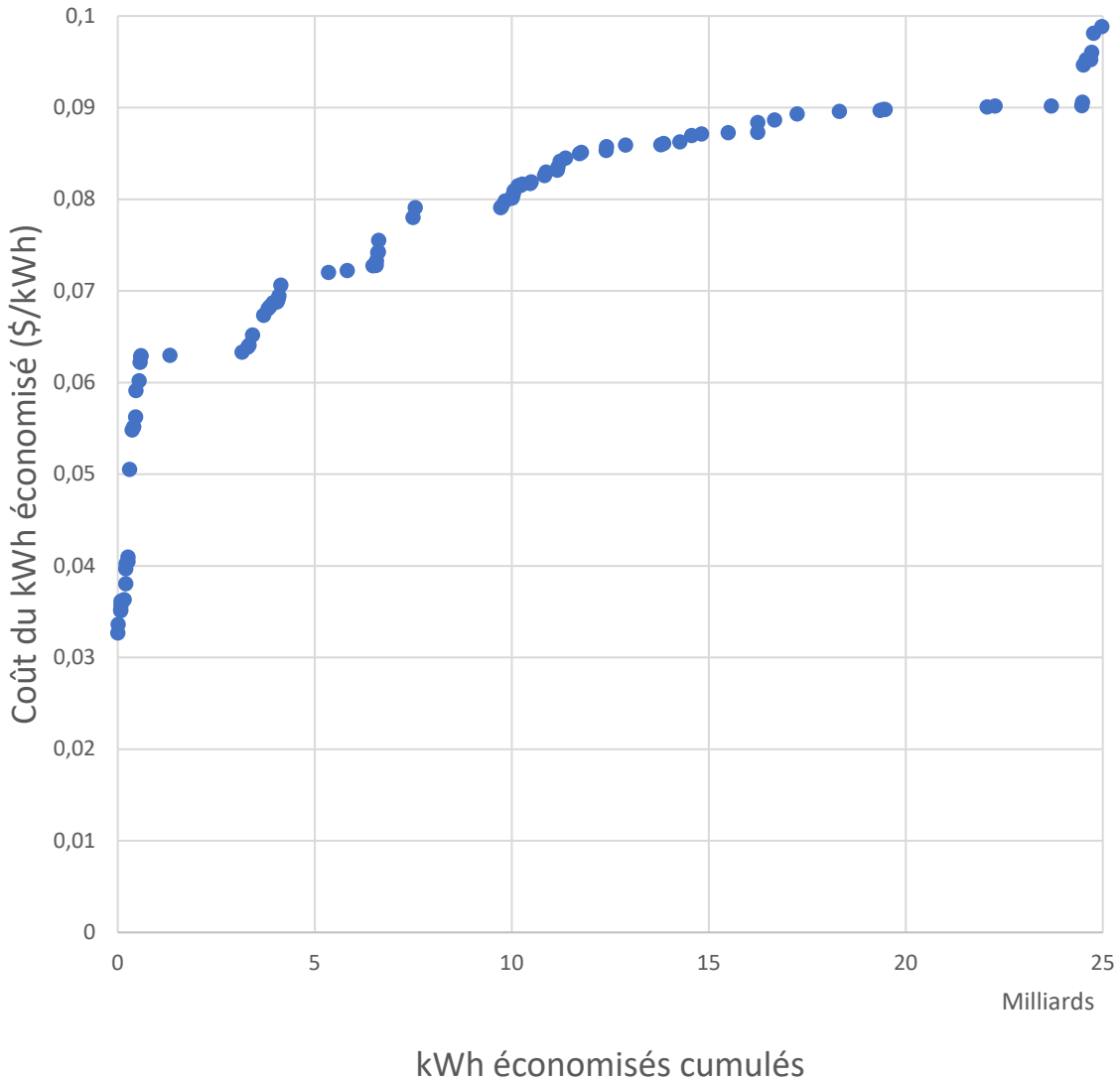
Rappel important : Les valeurs présentées ici sont des valeurs approximatives et indicatives. Elles ne peuvent être considérées comme effectives et imputées telles quelles à la réalité. Des simplifications ont été faites pour agréger différents bâtiments en bâtiment de référence. Une étude plus approfondie de chacune des actions, sur chaque bâtiment, devrait être réalisée pour estimer avec exactitude les économies et les coûts. Nous rappelons que cette étude est globale et qu'elle n'est en aucun cas contractuelle. De plus, les économies des différents scénarios ne peuvent être simplement additionnées. En effet, il existe de nombreux effets croisés quant à la thermicité des bâtiments. Par exemple, l'ajout d'isolant sur un bâtiment diminuera le potentiel d'économie d'une thermopompe puisqu'il réduira les besoins de chauffage. Le passage à de l'éclairage DEL quant à lui, augmentera le potentiel d'une thermopompe puisque les émissions de chaleur de ce type d'éclairage sont plus faibles, les besoins de chauffage du bâtiment auront donc tendance à augmenter.

Afin d'illustrer, nous avons simulé sur une maison individuelle d'avant 1983 le bouquet de travaux suivant : ISOLATION DU TOIT R20 ; ISOLATION DES MURS R15 ; DOUBLE VITRAGE ; THERMOPOMPE. Lorsque l'on additionne les économies potentielles individuelles, on obtient un résultat de 45 278 kWh économisés par an. En réalité, lorsque l'on considère les effets croisés, seuls 31 393 kWh sont réalisés.

Dans le graphique 1 suivant, nous présentons le cumul des kWh économisés n'excédant pas un coût de 0,1\$/kWh. Chaque point représente un scénario de rénovation. Attention, comme mentionné précédemment, nous ne pouvons considérer le total de 25 TWh d'économie. Ce graphique est présenté à titre informatif et offre un bref aperçu du potentiel d'efficacité énergétique

du parc résidentiel québécois. Nous pouvons cependant avancer qu'au moins 50 % de ces économies sont réalisables.

Graphique 1 : Milliards de kWh économisés cumulés dont le prix n'excède pas 0.1\$/kWh

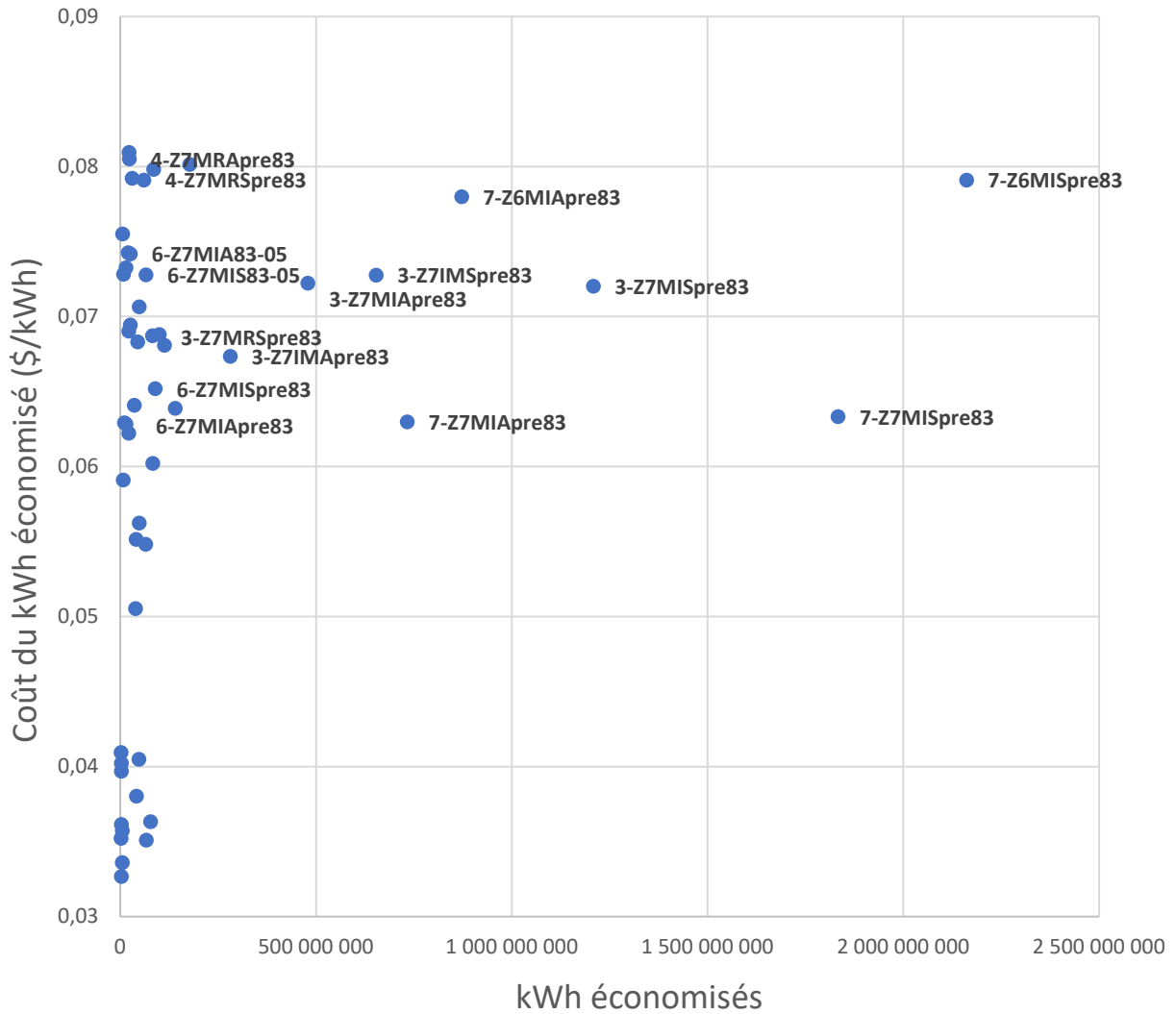


Dans le graphique 2 suivant, nous présentons les 50 scénarios avec le plus gros potentiel de kWh économisés. Pour chaque point nous avons assigné un code clef. Vous pouvez retrouver les scénarios auxquels ils correspondent dans la matrice de détermination en annexe 8.

Dans le graphique 3 suivant, nous présentons les 50 scénarios les moins onéreux. Pour chaque point, nous avons assigné un code clé. Vous pouvez retrouver les scénarios auxquels ils correspondent dans la matrice de détermination en annexe 8.

L'action 7-Z6MISpre83, qui est une installation de theromopompes en zone 6 pour les maisons individuelles construites avant 1983 offre un potentiel de près de 2,2 TWh, pour moins que 8¢ par kWh. Il est à noter que cette action 7 ne peut évidemment pas s'additionner avec l'action 8 (géothermie) pour les mêmes bâtiments, qui a été mentionné dans la discussion du graphique 2. Notez que les points non identifiés sur la gauche du graphique représentent l'APE.9, soit l'éclairage DEL.

Graphique 3 : TOP 50 des scénarios les moins onéreux (kWh)



Nous présentons maintenant, à travers les tableaux 5 et 6, l'action permettant les kWh économisés les moins chers pour chacun des bâtiments. Cette démarche nous permet de mettre en lumière les similitudes mais aussi les particularités de chacune de nos situations. Dans la première partie du tableau, nous définissons l'APE, et dans la deuxième, nous opposons les GWh économisés à l'échelle du parc et le prix par kWh économisé.

Tableau 5 : APE offrant les kWh économisés les moins chères par bâtiment dans la zone 6

ZONE 6	Avant 1983	1983-2005	Après 2005
Maison individuelle (sans climatisation)	APE.9 éclairage DEL	APE.9 éclairage DEL	APE.7
Maison individuelle (avec climatisation)			Thermopompe
Maison individuelle (avec thermopompe)			APE.11 Chauffe-eau haute efficacité
Maison en rangée (sans climatisation)			
Maison en rangée (avec climatisation)			
Maison en rangée (avec thermopompe)			APE.10 Capteur d'occupation
Immeuble résidentiel (sans climatisation)			
Immeuble résidentiel (avec climatisation)			
Immeuble résidentiel (thermopompe)			APE.11

ZONE 6	GWh	\$/kWh	GWh	\$/kWh	GWh	\$/kWh
Maison individuelle (sans climatisation)	99,43	0.069	82,04	0.069	453,9	0.150
Maison individuelle (avec climatisation)	48,37	0.056	40,65	0.055	184,1	0.147
Maison individuelle (avec thermopompe)	77,79	0.036	66,35	0.035	48,3	0.152
Maison en rangée (sans climatisation)	15	0.073	25,3	0.069	25,69	0.152
Maison en rangée (avec climatisation)	7,39	0.059	11,1	0.063	10,22	0.152
Maison en rangée (avec thermopompe)	3,16	0.036	5,12	0.036	2,67	0.152
Immeuble résidentiel (sans climatisation)	140,7	0.064	83,12	0.060	23,09	0.140
Immeuble résidentiel (avec climatisation)	65,24	0.055	39,38	0.051	39,63	0.151
Immeuble résidentiel (thermopompe)	4,86	0.034	2,78	0.033	1,81	0.151

Tableau 6 : APE offrant les kWh économisés les moins chères par bâtiment dans la zone 7

ZONE 7	Avant 1983	1983-2005	Après 2005
Maison individuelle (sans climatisation)	APE.7	APE.6	APE.11
Maison individuelle (avec climatisation)	Thermopompe	APE.9	APE.7
Maison individuelle (avec thermopompe)			APE.11
Maison en rangée (sans climatisation)	APE.3	APE.6 Étanchéité	APE.5
Maison en rangée (avec climatisation)			APE.11
Maison en rangée (avec thermopompe)	APE.9	APE.9 éclairage DEL	APE.11
Immeuble résidentiel (sans climatisation)	APE.3. Isolation des murs		APE.5 Triple vitrage
Immeuble résidentiel (avec climatisation)			
Immeuble résidentiel (thermopompe)	APE.9		APE.11

ZONE 7	GWh	\$/kWh	GWh	\$/kWh	GWh	\$/kWh
Maison individuelle (sans climatisation)	1833	0.063	65,94	0.073	31,56	0.152
Maison individuelle (avec climatisation)	733,1	0.063	22,1	0.069	159,2	0.116
Maison individuelle (avec thermopompe)	47,37	0.041	41,56	0.038	13,04	0.152
Maison en rangée (sans climatisation)	113,1	0.068	20,13	0.074	55,33	0.126
Maison en rangée (avec climatisation)	44,83	0.068	8,16	0.073	21,2	0.131
Maison en rangée (avec thermopompe)	1,9	0.041	3,13	0.04	1,81	0.152
Immeuble résidentiel (sans climatisation)	653,7	0.073	48,1	0.071	202,9	0.154
Immeuble résidentiel (avec climatisation)	280,9	0.067	21,71	0.062	81,57	0.153
Immeuble résidentiel (thermopompe)	2,76	0.04	1,75	0.035	1,1	0.17

Rappelons finalement que ces résultats sont basés sur des calculs de rentabilité utilisant un taux d'intérêt de 3%. Les résultats de ces calculs sont disponibles en annexe 6. Nous verrons plus tard, lors de notre analyse de sensibilité en 4.3 comment la rentabilité des différents scénarios évolue lorsque le taux d'intérêt varie.

4.2 Analyse des résultats

L'analyse des résultats présentés précédemment nous permet de mettre en lumière des éléments importants.

Le remplacement de l'éclairage par des ampoules DEL semble être une solution rentable et économique. Même si à l'échelle du parc, elle ne représente qu'une économie totale de 1.2 TWh, elle est très accessible puisque le coût du kWh économisé ne dépasse pas 0.09\$. Nous pouvons ajouter qu'en moyenne il se situe autour de 0.05\$/kWh et que le TOP50 des scénarios les moins onéreux est composé à plus de 50% de scénarios remplaçant l'éclairage. En effet, le remplacement de l'éclairage est, pour toutes les catégories de bâtiment de la zone 6, la rénovation la moins coûteuse. En revanche, les besoins accrus de chauffage dans la zone 7 relègue aux second plan les coûts des DEL vis à vis des rénovations thermiques. En effet, dans la zone 7, plus froide, les gains énergétiques des DEL sont en partie effacés par les besoins de chauffage plus grands.

Nous observons aussi que la thermopompe permet de réaliser les économies d'énergie les plus conséquentes. Dans sa déclinaison électrique, elle permettrait de réaliser ces économies en conservant un prix du kWh économisé inférieur au prix moyen de l'électricité en 2018, soit 0,0804 \$ (Hydro-Québec, 2018). Ces économies semblent réalisables sur des maisons individuelles avec ou sans climatisation construites avant 1983 en zone 6 et 7. Ces 4 scénarios permettraient d'économiser environ 5,6 TWh d'électricité. En plus d'alléger la facture des consommateurs, ces surplus électriques pourraient servir à l'électrification des transports, l'augmentation de l'agriculture sous serre ou encore être exportés dans d'autres provinces ou états américains.

En élargissant le seuil de rentabilité au prix des kWh du second bloc du tarif D d'Hydro-Québec, soit 0,095\$ (Hydro-Québec, 2021), la thermopompe géothermique devient rentable pour les

maisons individuelles avec ou sans climatisation en zone 7. En considérant que ces résultats doivent être nuancés puisque le fonctionnement de la géothermie varie beaucoup d'une installation à l'autre, les économies d'énergie additionnelles sont conséquentes. On parle ici d'environ 1 TWh supplémentaire par rapport aux thermopompes traditionnelles. À cela s'ajoutent les thermopompes électriques devenant elles aussi rentables pour les maisons individuelles construites entre 1983 et 2005 en zone 7 et les maisons en rangées construites avant 1983. Les économies réalisées pour ces deux bâtiments types représenteraient environ 0,3 TWh par an.

En additionnant la pose de thermopompe dans chacune de ces situations, il serait possible de réaliser des économies importantes de l'ordre de presque 7 TWh, soit environ 75% du contrat d'exportation signé avec le Massachusetts représentant pas loin de 10 milliards de dollars (Pierre Couture, 2019).

Les derniers scénarios qui ont attiré notre attention sont les mesures d'isolation. Pour la zone 7, seule l'isolation des murs est rentable pour certains bâtiments construits avant 1983 en considérant les tarifs du second bloc d'Hydro-Québec. Pour la zone 7 de nombreux scénarios d'amélioration de l'isolation semblent intéressants : l'isolation des murs et le remplacement des fenêtres avec du double ou triple vitrage. Eux aussi sont liés à des bâtiments construits avant 1983.

Comme énoncé précédemment, les effets thermiques croisés ne permettent pas d'additionner ces économies potentielles. Nous pouvons néanmoins calculer les économies réalisables sur l'amélioration de l'isolation de l'ensemble de ces bâtiments types. Cela permettrait d'économiser environ 4,7 TWh d'électricité par année.

Enfin, pour ce qui est des autres scénarios de rénovation étudiés, seule la réduction de l'infiltration semble intéressante. En effet, elle est rentable pour quelques situations, mais ne permet pas un volume d'économies important.

Attention, les économies calculées pour les trois types de rénovation dans cette partie ne peuvent être additionnées ensemble. En effet, elles ont toutes un impact sur le comportement thermique du bâtiment. Nous pouvons ainsi résumer dans le tableau 7 suivant les économies d'énergies potentiellement réalisables et rentables :

Tableau 7 : Économies totales réalisables par APE pour moins de 0.095\$/kWh

ZONE 6 et 7	TWh économisés
THERMOPOMPE	5.89
THERMOPOMPE GÉOTHERMIQUE	3.62
ISOLATION DES MURS R15	4.71
AMÉLIORATION DE L'ÉTANCHÉITÉ	0.35
DOUBLE VITRAGE	1.65
TRIPLE VITRAGE	2.34
ECLAIRAGE DEL	1.25

4.3 Analyse de sensibilité

Afin de réaliser une analyse de sensibilité, nous faisons varier le taux d'intérêt de notre calcul de rentabilité. Cette analyse permet de mettre en lumière l'importance du cadre financier dans la rentabilité et donc la réalisation de travaux de rénovation énergétique.

Lorsque le taux d'intérêt augmente 3 à 5 %, un bon nombre de scénarios ne sont plus rentables et risquent de ne jamais être réalisés. En effet, en considérant le prix moyen de l'électricité en 2018, seul le remplacement de l'éclairage reste rentable dans la zone 6. Soit, comme vue précédemment, une faible proportion des économies potentielles. Dans la zone 7 l'éclairage n'est plus que rentable dans 50 % des cas et la thermopompe n'est rentable que dans les maisons unifamiliales avec ou sans climatisation construites avant 1983. Le potentiel technico-économique est très largement réduit par la hausse des taux d'intérêt.

En revanche lorsque l'on simule un taux d'intérêt de 0 %, le potentiel est démultiplié. Les scénarios qui profitent le plus de cette baisse des taux sont les travaux visant l'isolation des bâtiments, et ce aussi bien en zone 6 qu'en zone 7. Nous remarquons aussi que tous les scénarios qui n'étaient rentables qu'en considérant le tarif du second bloc d'Hydro-Québec sont à présent rentables par rapport au coût moyen de l'électricité tous tarifs confondus.

Le tableau 8 suivant présente les économies d'énergies potentiellement réalisables et rentables lorsque le taux d'intérêt est de 0% :

Tableau 7 : Économies totales réalisables par APE pour moins de 0.095\$/kWh, intérêt = 0 %

ZONE 6 et 7	TWh économisés	Ajout par rapport aux résultats 3 %
THERMOPOMPE	8.32	+2,43
THERMOPOMPE GÉOTHERMIQUE	7.63	+4,01
ISOLATION DES MURS R15	6.39	+1.69
AMÉLIORATION DE L'ÉTANCHÉITÉ	0.86	+0.51
DOUBLE VITRAGE	5.22	+3.57
TRIPLE VITRAGE	7.87	+5.53
ECLAIRAGE DEL	1.25	-

4.4 Discussion : bénéfices connexes

Il existe des bénéfices non quantifiés qu'il est cependant utile de mentionner : l'efficacité énergétique n'amène pas que des économies supplémentaires, mais aussi, très souvent, un confort plus grand pour les résidents. Il y a aussi des économies liées à la réduction de la pointe qui pourraient être ajoutées. Ces économies pourraient même, si elles sont assez conséquentes, justifier une isolation plus importante (actions 2 et 3) plutôt que les thermopompes, puisque ces dernières sont moins efficaces par grand froid et ne vont donc pas autant réduire la pointe durant les épisodes de grand froid. Des analyses plus poussées devraient être menées pour établir la valeur globale des APE.

4.5 Recommandations

En nous appuyant sur les résultats de cette étude, nous allons formuler quelques recommandations. Nous rappelons néanmoins que celle-ci sont basées sur des résultats émanant d'une extrapolation de la réalité. Sachant que pour chacun des scénarios une étude approfondie devra être réalisée, ils doivent être considérés avec prudence. En effet, ces recommandations ont pour but d'axer la réflexion quant à l'exploitation des gisements d'efficacité énergétique du parc résidentiel québécois.

1/ Ajuster les politiques incitatives en fonction des bâtiments et des zones climatiques.

Les importants écarts climatiques au Québec doivent être considérés dans l'établissement de politiques incitatives en faveur de la rénovation énergétique. En effet, afin de proposer des politiques équitables, les propriétaires d'anciens bâtiments dans la zone 7 devrait être favorisés puisque leur consommation d'énergie est supérieure à ceux de la zone 6. Ainsi, les répercussions

positives de rénovations énergétiques seront supérieures dans ces zones et l'écart de facture d'énergie entre les foyers de la zone 6 et ceux de la zone 7 tendrait à diminuer.

2/ Promouvoir l'amélioration de l'isolation plutôt que la mise en place de thermopompes.

À la lumière de nos résultats, nous recommandons aux acteurs de l'efficacité énergétique du Québec de se concentrer sur les actions ayant une influence directe sur les besoins de chauffage des bâtiments. En effet, le chauffage représente en moyenne les deux tiers de la consommation totale d'énergie du parc résidentiel (Ressources Naturelles Canada, 2018). Comme présenté précédemment, l'ajout de thermopompe semble être une action idéale dans bon nombre de situations. Cette action permet de diminuer par deux environ les besoins de chauffage. Cependant, les thermopompes ne peuvent remplacer complètement les plinthes électriques puisque leur rendement est diminué lorsqu'il fait très froid. Aussi, elles ne permettent pas de solutionner le problème de la pointe de demande de puissance sur le réseau de distribution d'Hydro-Québec. Les fortes pointes de demande, lorsqu'il fait très froid, obligent une sur dimension des infrastructures du réseau et engendrent donc des coûts supplémentaires importants. C'est pourquoi, et ce même si la rentabilité semble moins bonne dans nos résultats, les mesures d'amélioration de l'isolation des bâtiments devraient être étudiées plus attentivement. En effet, en réduisant les besoins thermiques plutôt qu'en augmentant les rendements du système de chauffage, nous réduisons la puissance maximale nécessaire pour le chauffage des bâtiments lors de période de grand froid. Selon nos simulations, il est question d'une réduction de la pointe de l'ordre de 3 kW par bâtiment en moyenne pour les maisons individuelles et en rangées construites avant 1983, soit environ 2 000 MW économisés lors de période de forte consommation. Les coûts supplémentaires de la rénovation pourraient donc être altérés par les coûts inférieurs sur les infrastructures de

distribution. Dans ce sens, il serait intéressant d'aller plus loin en réalisant une analyse avantage-coût.

3/ Mettre en place une politique d'emprunt incitative à la rénovation énergétique

Cette recommandation s'appuie sur les résultats de notre analyse de sensibilité. L'impact important des conditions d'emprunt sur la faisabilité des travaux de rénovation énergétique a retenu notre attention. Des taux préférentiels sur les emprunts visant des scénarios comme ceux étudiés ici devraient être considérés par les décideurs politiques dans la définition de leurs politiques en faveur de la transition énergétique. Ils pourraient prendre exemple sur la France où le gouvernement garantit des prêts à taux zéro pour les particuliers qui réalisent des améliorations de la performance énergétique de leur logement. Cette initiative s'appelle les *Éco-prêt à taux zéro* (Administration française, 2020). En augmentant la rentabilité de ces investissements, le gouvernement du Québec augmenterait ses chances de convaincre un plus grand nombre de Québécois à participer à l'amélioration de la performance énergétique du parc résidentiel.

4/ Moderniser l'analyse de l'efficacité énergétique au Québec

Enfin, notre dernière recommandation porte sur les outils aujourd'hui disponibles pour analyser plus précisément et plus rapidement le potentiel technico-économique de différents scénarios de rénovation énergétique. En effet, la méthode utilisée dans ce rapport pourrait permettre d'étudier en profondeur les opportunités qui s'offrent au secteur résidentiel québécois. Les acteurs importants de l'énergie au Québec pourraient bénéficier de ces nouvelles approches.

5. CONCLUSION

Les éléments présentés dans cette étude nous permettent un constat sans équivoque : Il existe de nombreux gisements d'efficacité énergétique dans le parc résidentiel québécois et bon nombre d'entre eux ne demandent qu'à être exploités.

La promotion de l'amélioration de l'isolation doit être priorisée puisqu'elle permettrait de fortes économies d'énergie, environ 6,4 TWh et la réduction minimale de la pointe avoisinerait les 2 000 MW. En parallèle, l'instauration de taux d'emprunt avantageux pour les rénovations énergétiques permettrait de doubler les économies d'énergies potentiellement rentables. Une politique de taux zéro semble donc être parfaitement adaptée à la situation. Enfin, la considération des inégalités climatiques entre les différentes régions et l'emploi des nouvelles technologies digitales doivent être embrassés par les différents acteurs de l'énergie au Québec. La complémentarité de ses actions permettra à la province de se démarquer et d'affirmer son leadership dans sa politique de transition énergétique. En effet, le manque d'ambition actuel en efficacité énergétique doit être contrecarré par des initiatives concrètes basées sur des analyses approfondies et détaillées.

Dans la lignée de notre analyse, il serait à présent intéressant de sélectionner les scénarios dont le potentiel est le plus élevé et d'approfondir leur analyse. En effet, une collaboration avec des professionnels de la construction permettrait de préciser les calculs économiques dans le but d'établir de réels objectifs. Cette étude approfondie permettrait aussi d'établir des politiques gouvernementales efficaces, qu'elles soient incitatives ou punitives.

7. ANNEXES

ANNEXE 1. Répartition de la population québécoise par zone climatique

Démographie 2019 Qc	habitants	Zone climatique
Nord du Qc	45,894	7
Gaspésie	90,412	7
Côte Nord	90,669	7
Abitibi	147,625	7
Bas Saint Laurent	197,480	7
Centre du Qc	249,454	6
Mauricie	271,181	7
Saguenay	277,985	7
Estrie	329,325	6
Ouataouais	397,004	6
Chaudière Appalaches	428,947	7
Laval	439,575	6
Lanaudière	515,711	7
Laurentides	620,521	7
Capitale Nationale	751,345	7
Montérégie	1,583,554	6
Montreal	2,064,991	6
TOTAL	8,501,673	

ANNEXE 2. Intensité énergétique par m² (kWh/m²/an) par type de bâtiment par an

ZONE 6	Avant 1983	1983-2005	Après 2005
Maison individuelle (sans climatisation)	286.5	232.2	169.3
Maison individuelle (avec climatisation)	297.9	243	178.5
Maison individuelle (avec thermopompe)	192.2	164.6	122.9
Maison en rangée (sans climatisation)	228.7	193	145.6
Maison en rangée (avec climatisation)	236.2	213	151.7
Maison en rangée (avec thermopompe)	162.7	144.3	111
Immeuble résidentiel (sans climatisation)	180.9	154.6	110.2
Immeuble résidentiel (avec climatisation)	210.8	170	124.4
Immeuble résidentiel (thermopompe)	151.1	131.5	98

ZONE 7	Avant 1983	1983-2005	Après 2005
Maison individuelle (sans climatisation)	339.9	262.4	188.2
Maison individuelle (avec climatisation)	345	269.7	207.5
Maison individuelle (avec thermopompe)	212.2	176.2	129.9
Maison en rangée (sans climatisation)	267.4	217.6	162.1
Maison en rangée (avec climatisation)	270.8	221.9	165.8
Maison en rangée (avec thermopompe)	177.9	153.5	116.8
Immeuble résidentiel (sans climatisation)	216.2	169.4	113.7
Immeuble résidentiel (avec climatisation)	235	185.7	132.5
Immeuble résidentiel (thermopompe)	166.6	135.9	100

ANNEXE 3. Valeurs utilisées par le logiciel lors de la simulation énergétique des bâtiments

Building Vintage	Occupancy hours - To:	Cooling System COP	Cooling Set Point Weekend	Heating System COP	If natural ventilation is used, window area totally opened	Window Emissivity	HVAC system heating loss factor
Climate Zone	Interior Lighting Weekday	Cooling system IPLV	Refrigeration Electric Load	Pump control for cooling	If natural ventilation, angle of opening for bottom hung window	Shading Overhang Angle	HVAC system cooling loss factor
Terrain class	Interior Lighting Weekend	HVAC system type	Electric Equipment Power Intensity	Pump control for heating	Mechanical ventilation control	Shading Fin Angle	Heating pumps control factor
Number of building	Domestic Hot Water Weekday	Occupied Internal set point for heating Week Day	Elevator Electric Load	Pump Power Factor	DHW Demand	Shading Horizon Angle	Cooling pumps control factor
Building Geometry	Domestic Hot Water Weekend	Occupied Internal set point for heating Week End	Datacenter Electric Load	Specific fan power	DHW Generation System	Shading Reduction Device	Daylight Sensor Dimming Fraction
Overall Geometry	Elevator Electric Load Weekday	Unoccupied Internal set point for heating Week Day	Natural Gas Powered Appliances Occupied	Fan flow control factor	DHW Primary Energy Source	Floor Type	Occupancy Sensor Control Fraction
Window to Wall Ratio	Elevator Electric Load Weekend	Unoccupied Internal set point for heating Week End	People Density: Occupied	Outside air flow rate	Type of BEM system installed	FloorUvalue	Constant Illumination Control Fraction
Above Ground Stories	Electric Appliances Weekday	Occupied Internal set point for cooling Week Day	Heat Gain per Person	Ventilation type	Heat Capacity	Ground Soil type	
Total building conditioned floor area	Electric Appliances Weekend	Occupied Internal set point for cooling Week End	Interior Lighting Power Intensity	Mechanical ventilation supply air flow rate	Envelope Heat Capacity (Thermal Mass)	Exterior Heat Capacity	
Total Ventilated Volume	Gas Appliances Weekday	Unoccupied Internal set point for cooling Week Day	Exterior Lighting Power	Mechanical ventilation exhaust air flow rate	Wall U-value	Infiltration Rate [ACH]	
Building Height	Gas Appliances Weekend	Unoccupied Internal set point for cooling Week End	Lighting daylighting sensor system	Heat Recovery System Type	Wall Solar Absorption coefficient	DHW System Efficiency	
Reference Floor to Floor Height	Occupancy Weekday	Heating Set Point Weekday	Lighting occupancy sensor system	Exhaust air recirculation	Wall Thermal Emissivity	Heat recovery efficiency	
Reference Gross Floor Area	Occupancy Weekend	Heating Set Point Weekend	Lighting constant illumination control	Building air leakage (infiltration)	Window U-value	Fresh Air Supply Factor	
Occupancy hours - From:	Cooling Primary Energy Source	Cooling Set Point Weekday	Heating Energy Carrier	Natural Ventilation Used for Cooling During Unoccupied Hours	Window Solar Transmittance	HVAC Hot/Cold Waste Factor	

ANNEXE 4. Économies annuelles et coûts par APE pour chaque bâtiment de la zone 6

Saved kWh/yr	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Imeuble résidentiel (sans climatisation)	Imeuble résidentiel (sans climatisation)	Imeuble résidentiel (sans climatisation)	Imeuble résidentiel (avec climatisation)	Imeuble résidentiel (avec climatisation)	Imeuble résidentiel (avec climatisation)	Imeuble résidentiel (avec thermopompe)	Imeuble résidentiel (avec thermopompe)	Imeuble résidentiel (avec thermopompe)	
ZONE 6	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	
APE.1	936	968	916	973	1,013	965	491	526	498	829	873	778	857	989	790	438	464	411	7,960	7,198	6,991	8,533	8,245	7,892	3,989	3,827	3,587	
APE.2	6,143	2,162	1,574	6,218	2,162	1,538	3,166	1,098	789	2,997	1,034	718	3,012	1,166	727	1,523	515	365	31,838	11,397	8,336	34,875	9,894	8,803	16,222	5,612	4,065	
APE.3	9,886	4,099	3,176	9,983	4,053	3,137	5,076	2,082	1,579	4,790	1,975	1,476	4,809	2,205	1,476	2,418	996	730	50,941	21,595	16,671	55,651	19,458	17,909	25,796	10,970	8,130	
APE.4	5,167	4,067	2,833	4,992	3,918	2,715	2,429	1,876	1,288	2,515	1,975	1,317	2,460	2,104	1,268	1,180	910	608	37,251	29,992	20,704	38,956	31,001	20,944	17,020	13,266	9,087	
APE.5	7,323	6,262	5,293	7,064	6,012	5,068	3,412	2,883	2,409	3,559	3,032	2,473	3,454	3,244	2,369	1,675	1,408	1,141	52,852	46,188	38,182	54,538	47,161	38,853	23,934	20,409	16,499	
APE.6	732	613	258	719	608	241	355	297	125	589	528	20	580	583	208	286	258	106	10,188	10,197	4,302	11,501	10,883	4,553	5,319	5,102	2,152	
APE.7	15,038	10,898	9,430	15,251	11,092	9,616				8,600	6,664	5,576	8,717	7,521	5,686				85,536	65,184	51,484	95,216	70,034	58,316				
APE.8	21,237	15,396	13,304	21,447	15,571	13,484	6,414	4,690	4,092																			
APE.9	692	678		846	844		1,310	1,327		535	574		663	634		1,085	1,116		9,233	10,797		10,759	12,862		17,552	19,899		
APE.10	203	194	57	212	236	60	355	366	125	161	161	40	193	177	62	286	309	91	7,323	2,999	1,076	2,968	3,628	1,214	4,787	5,357	1,674	
APE.11	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	14,608	14,608	14,608	14,608	14,608	14,608	14,608	14,608	14,608	14,608
APE.12	366	387	486	465	473	603	737	732	914	294	322	379	387	355	478	609	635	730	6,049	7,198	9,142	7,420	8,575	11,231	11,701	13,266	16,978	
APE.13	448	452	572	550	574	724	901	892	1,101	375	390	459	442	431	561	723	756	882	7,323	8,698	11,024	8,904	10,554	13,356	14,095	15,817	20,325	

Cost \$	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Imeuble résidentiel (sans climatisation)	Imeuble résidentiel (sans climatisation)	Imeuble résidentiel (sans climatisation)	Imeuble résidentiel (avec climatisation)	Imeuble résidentiel (avec climatisation)	Imeuble résidentiel (avec climatisation)	Imeuble résidentiel (avec thermopompe)	Imeuble résidentiel (avec thermopompe)	Imeuble résidentiel (avec thermopompe)	
ZONE 6	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	
APE.1	5,325	5,212	6,337	5,325	5,212	6,337	5,325	5,212	6,337	4,387	4,462	5,137	4,387	4,462	5,137	4,387	4,462	5,137	36,300	40,013	50,325	36,300	40,013	50,325	36,300	40,013	50,325	
APE.2	13,107	12,968	14,299	13,107	12,968	14,299	13,107	12,968	14,299	5,949	5,999	6,437	5,949	5,999	6,437	5,949	5,999	6,437	67,560	70,930	79,548	67,560	70,930	79,548	67,560	70,930	79,548	
APE.3	17,476	17,290	19,065	17,476	17,290	19,065	17,476	17,290	19,065	7,932	7,999	8,583	7,932	7,999	8,583	7,932	7,999	8,583	90,080	94,575	106,064	90,080	94,575	106,064	90,080	94,575	106,064	
APE.4	10,794	10,679	11,775	10,794	10,679	11,775	10,794	10,679	11,775	4,899	4,941	5,301	4,899	4,941	5,301	4,899	4,941	5,301	78,821	82,753	92,806	78,821	82,753	92,806	78,821	82,753	92,806	
APE.5	15,420	15,256	16,822	15,420	15,256	16,822	15,420	15,256	16,822	6,998	7,058	7,573	6,998	7,058	7,573	6,998	7,058	7,573	112,600	118,218	132,580	112,600	118,218	132,580	112,600	118,218	132,580	
APE.6	888	869	1,056	888	869	1,056	888	869	1,056	731	744	856	731	744	856	731	744	856	22,000	24,250	30,500	22,000	24,250	30,500	22,000	24,250	30,500	
APE.7	14,200	13,900	16,900	14,200	13,900	16,900				11,700	11,900	13,700	11,700	11,900	13,700				176,000	194,000	244,000	176,000	194,000	244,000				
APE.8	35,500	27,800	42,250	35,500	27,800	42,250	35,500	27,800	42,250																			
APE.9	568	556		568	556		568	556		468	476		468	476		468	476		7,040	7,760		7,040	7,760		7,040	7,760		
APE.10	852	834	1,014	852	834	1,014	852	834	1,014	702	714	822	702	714	822	702	714	822	10,560	11,640	14,640	10,560	11,640	14,640	10,560	11,640	14,640	
APE.11	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	26,400	26,400	26,400	26,400	26,400	26,400	26,400	26,400	26,400	26,400
APE.12	1,704	1,668	2,028	1,704	1,668	2,028	1,704	1,668	2,028	1,404	1,428	1,644	1,404	1,428	1,644	1,404	1,428	1,644	21,120	23,280	29,280	21,120	23,280	29,280	21,120	23,280	29,280	
APE.13	2,840	2,780	3,380	2,840	2,780	3,380	2,840	2,780	3,380	2,340	2,380	2,740	2,340	2,380	2,740	2,340	2,380	2,740	35,200	38,800	48,800	35,200	38,800	48,800	35,200	38,800	48,800	

ANNEXE 5. Économies annuelles et coûts par APE pour chaque bâtiment de la zone 7

Saved kWh/yr	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Maison en rangée (avec thermopompe)	meuble résidentiel (sans climatisation)	meuble résidentiel (sans climatisation)	meuble résidentiel (sans climatisation)	meuble résidentiel (avec climatisation)	meuble résidentiel (avec climatisation)	meuble résidentiel (avec climatisation)	meuble résidentiel (avec thermopompe)	meuble résidentiel (avec thermopompe)	meuble résidentiel (avec thermopompe)		
	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005		
APE.1	1,156	1,204	1,145	1,176	1,200	1,157	603	612	571	1,032	1,088	955	1,046	1,083	977	541	548	496	9,893	8,873	8,045	10,754	9,727	8,729	5,571	4,482	3,904		
APE.2	7,658	2,663	1,877	7,691	2,662	1,859	3,857	1,323	922	3,723	1,295	911	3,707	1,294	886	1,852	639	448	39,954	13,803	4,994	43,014	14,771	10,022	21,991	6,591	4,392		
APE.3	12,379	5,070	3,817	12,345	5,023	3,787	6,177	2,498	1,866	5,944	2,460	1,821	5,925	2,456	1,794	2,956	1,206	896	63,165	26,291	10,820	68,244	27,740	20,368	34,599	12,391	9,028		
APE.4	6,454	4,997	3,435	6,320	4,836	5,365	3,074	2,327	1,559	3,160	2,460	1,643	3,105	2,403	1,590	1,519	1,169	768	46,803	36,150	23,859	49,218	36,746	24,248	24,337	15,819	10,004		
APE.5	9,152	7,696	6,425	9,259	7,385	8,206	4,369	3,551	2,898	4,474	3,781	3,065	4,372	3,670	2,953	2,144	1,790	1,424	65,829	54,882	43,834	69,071	55,480	44,292	34,306	23,728	18,300		
APE.6	915	802	318	911	787	316	452	392	154	782	673	266	760	687	250	375	329	128	13,698	12,817	5,271	14,890	13,690	5,496	7,624	6,064	2,440		
APE.7	18,787	12,997	11,036	18,886	13,136	12,213				10,869	8,128	6,713	10,916	8,199	6,782				109,296	79,152	55,632	119,152	87,300	70,028					
APE.8	26,482	17,471	15,521	26,602	18,482	17,253	7,804	5,486	4,698																				
APE.9	530	547		588	675		1,175	1,225		375	440		444	528		957	1,005		6,849	9,202		7,445	10,447		14,661	18,455			
APE.10	144	146	64	147	187	70	331	318	110	94	129	44	127	132	45	250	274	80	1,903	2,629	832	2,068	2,882	970	4,105	5,009	1,708		
APE.11	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	966	6,527	6,527	6,527	6,527	6,527	6,527	6,527	12,992	12,992	12,992	
APE.12	289	328	413	343	375	491	663	686	856	219	233	289	253	290	363	541	566	656	4,566	6,244	8,878	4,963	7,205	10,346	9,676	12,391	16,348		
APE.13	337	365	477	392	450	561	783	808	1,020	250	285	355	317	370	432	645	676	800	5,327	7,230	10,820	5,790	8,646	12,285	11,729	14,764	19,520		

Coût \$	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Maison en rangée (avec thermopompe)	meuble résidentiel (sans climatisation)	meuble résidentiel (sans climatisation)	meuble résidentiel (sans climatisation)	meuble résidentiel (avec climatisation)	meuble résidentiel (avec climatisation)	meuble résidentiel (avec climatisation)	meuble résidentiel (avec thermopompe)	meuble résidentiel (avec thermopompe)	meuble résidentiel (avec thermopompe)	
	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	
APE.1	5,325	5,212	6,337	5,325	5,212	6,337	5,325	5,212	6,337	4,387	4,462	5,137	4,387	4,462	5,137	4,387	4,462	5,137	36,300	40,013	50,325	36,300	40,013	50,325	36,300	40,013	50,325	
APE.2	13,107	12,968	14,299	13,107	12,968	14,299	13,107	12,968	14,299	5,949	5,999	6,437	5,949	5,999	6,437	5,949	5,999	6,437	67,560	70,930	79,548	67,560	70,930	79,548	67,560	70,930	79,548	
APE.3	17,476	17,290	19,065	17,476	17,290	19,065	17,476	17,290	19,065	7,932	7,999	8,583	7,932	7,999	8,583	7,932	7,999	8,583	90,080	94,575	106,064	90,080	94,575	106,064	90,080	94,575	106,064	
APE.4	10,794	10,679	11,775	10,794	10,679	11,775	10,794	10,679	11,775	4,899	4,941	5,301	4,899	4,941	5,301	4,899	4,941	5,301	78,821	82,753	92,806	78,821	82,753	92,806	78,821	82,753	92,806	
APE.5	15,420	15,256	16,822	15,420	15,256	16,822	15,420	15,256	16,822	6,998	7,058	7,573	6,998	7,058	7,573	6,998	7,058	7,573	112,600	118,218	132,580	112,600	118,218	132,580	112,600	118,218	132,580	
APE.6	888	869	1,056	888	869	1,056	888	869	1,056	731	744	856	731	744	856	731	744	856	22,000	24,250	30,500	22,000	24,250	30,500	22,000	24,250	30,500	
APE.7	14,200	13,900	16,900	14,200	13,900	16,900				11,700	11,900	13,700	11,700	11,900	13,700				176,000	194,000	244,000	176,000	194,000	244,000				
APE.8	35,500	27,800	42,250	35,500	27,800	42,250	35,500	27,800	42,250																			
APE.9	568	556		568	556		568	556		468	476		468	476		468	476		7,040	7,760		7,040	7,760		7,040	7,760		
APE.10	852	834	1,014	852	834	1,014	852	834	1,014	702	714	822	702	714	822	702	714	822	10,560	11,640	14,640	10,560	11,640	14,640	10,560	11,640	14,640	
APE.11	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	1,755	26,400	26,400	26,400	26,400	26,400	26,400	26,400	26,400	26,400	
APE.12	1,704	1,668	2,028	1,704	1,668	2,028	1,704	1,668	2,028	1,404	1,428	1,644	1,404	1,428	1,644	1,404	1,428	1,644	21,120	23,280	29,280	21,120	23,280	29,280	21,120	23,280	29,280	
APE.13	2,840	2,780	3,380	2,840	2,780	3,380	2,840	2,780	3,380	2,340	2,380	2,740	2,340	2,380	2,740	2,340	2,380	2,740	35,200	38,800	48,800	35,200	38,800	48,800	35,200	38,800	48,800	

ANNEXE 6. Prix du kWh économisé pour chaque scénario dans les zones 6 et 7 (\$/kWh)

Saved kWh/yr	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Imeuble résidentiel (sans climatisation)	Imeuble résidentiel (sans climatisation)	Imeuble résidentiel (sans climatisation)	Imeuble résidentiel (avec climatisation)	Imeuble résidentiel (avec climatisation)	Imeuble résidentiel (avec climatisation)	Imeuble résidentiel (avec thermopompe)	Imeuble résidentiel (avec thermopompe)	Imeuble résidentiel (avec thermopompe)	
ZONE 6	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	
APE.1		0.29	0.27	0.35	0.28	0.26	0.33	0.55	0.51	0.65	0.27	0.26	0.34	0.26	0.23	0.33	0.51	0.49	0.64	0.23	0.28	0.37	0.22	0.25	0.33	0.46	0.53	0.72
APE.2		0.11	0.31	0.46	0.11	0.31	0.47	0.21	0.60	0.92	0.10	0.30	0.46	0.10	0.26	0.45	0.20	0.59	0.90	0.11	0.32	0.49	0.10	0.37	0.46	0.21	0.64	1.00
APE.3		0.09	0.22	0.31	0.09	0.22	0.31	0.18	0.42	0.62	0.08	0.21	0.30	0.08	0.19	0.30	0.17	0.41	0.60	0.09	0.22	0.32	0.08	0.25	0.30	0.18	0.44	0.67
APE.4		0.11	0.13	0.21	0.11	0.14	0.22	0.23	0.29	0.47	0.10	0.13	0.21	0.10	0.12	0.21	0.21	0.28	0.44	0.11	0.14	0.23	0.10	0.14	0.23	0.24	0.32	0.52
APE.5		0.11	0.12	0.16	0.11	0.13	0.17	0.23	0.27	0.36	0.10	0.12	0.16	0.10	0.11	0.16	0.21	0.26	0.34	0.11	0.13	0.18	0.11	0.13	0.17	0.24	0.30	0.41
APE.6		0.08	0.10	0.28	0.08	0.10	0.29	0.17	0.20	0.57	0.08	0.09	2.89	0.34	0.09	0.28	0.69	0.19	0.54	0.15	0.16	0.48	0.13	0.15	0.45	0.28	0.32	0.95
APE.7		0.08	0.11	0.15	0.08	0.10	0.15				0.11	0.15	0.21	0.11	0.13	0.20				0.17	0.25	0.40	0.15	0.23	0.35			
APE.8		0.11	0.12	0.21	0.11	0.12	0.21	0.37	0.40	0.69																		
APE.9		0.07	0.07		0.06	0.06		0.04	0.04		0.07	0.07		0.06	0.06		0.04	0.04		0.06	0.06		0.05	0.05		0.03	0.03	
APE.10		0.35	0.36	1.48	0.34	0.30	1.41	0.20	0.19	0.68	0.37	0.37	1.73	0.30	0.34	1.10	0.21	0.19	0.75	0.12	0.33	1.14	0.30	0.27	1.01	0.18	0.18	0.73
APE.11		0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
APE.12		0.47	0.43	0.42	0.37	0.35	0.34	0.23	0.23	0.22	0.48	0.45	0.44	0.36	0.40	0.35	0.23	0.23	0.23	0.35	0.32	0.32	0.29	0.27	0.26	0.18	0.18	0.17
APE.13		0.64	0.62	0.59	0.52	0.49	0.47	0.32	0.31	0.31	0.63	0.61	0.60	0.53	0.55	0.49	0.32	0.32	0.31	0.48	0.45	0.44	0.40	0.37	0.37	0.25	0.25	0.24

Saved kWh/yr	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Imeuble résidentiel (sans climatisation)	Imeuble résidentiel (sans climatisation)	Imeuble résidentiel (sans climatisation)	Imeuble résidentiel (avec climatisation)	Imeuble résidentiel (avec climatisation)	Imeuble résidentiel (avec climatisation)	Imeuble résidentiel (avec thermopompe)	Imeuble résidentiel (avec thermopompe)	Imeuble résidentiel (avec thermopompe)	
ZONE 7	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	
APE.1		0.24	0.22	0.28	0.23	0.22	0.28	0.45	0.43	0.57	0.22	0.21	0.27	0.21	0.21	0.27	0.41	0.42	0.53	0.19	0.23	0.32	0.17	0.21	0.29	0.33	0.46	0.66
APE.2		0.09	0.25	0.39	0.09	0.25	0.39	0.17	0.50	0.79	0.08	0.24	0.36	0.08	0.24	0.37	0.16	0.48	0.73	0.09	0.26	0.81	0.08	0.25	0.40	0.16	0.55	0.92
APE.3		0.07	0.17	0.25	0.07	0.18	0.26	0.14	0.35	0.52	0.07	0.17	0.24	0.07	0.17	0.24	0.14	0.34	0.49	0.07	0.18	0.50	0.07	0.17	0.27	0.13	0.39	0.60
APE.4		0.09	0.11	0.17	0.09	0.11	0.11	0.18	0.23	0.39	0.08	0.10	0.16	0.08	0.10	0.17	0.16	0.22	0.35	0.09	0.12	0.20	0.08	0.11	0.20	0.17	0.27	0.47
APE.5		0.09	0.10	0.13	0.08	0.11	0.10	0.18	0.22	0.30	0.08	0.10	0.13	0.08	0.10	0.13	0.17	0.20	0.27	0.09	0.11	0.15	0.08	0.11	0.15	0.17	0.25	0.37
APE.6		0.07	0.07	0.22	0.06	0.07	0.22	0.13	0.15	0.46	0.06	0.07	0.22	0.26	0.07	0.23	0.52	0.15	0.45	0.11	0.13	0.39	0.10	0.12	0.37	0.19	0.27	0.84
APE.7		0.06	0.09	0.13	0.06	0.09	0.12				0.09	0.12	0.17	0.09	0.12	0.17				0.13	0.21	0.37	0.12	0.19	0.29			
APE.8		0.09	0.11	0.18	0.09	0.10	0.16	0.31	0.34	0.60																		
APE.9		0.09	0.09		0.08	0.07		0.04	0.04		0.10	0.09		0.09	0.08		0.04	0.04		0.09	0.07		0.08	0.06		0.04	0.04	
APE.10		0.49	0.48	1.34	0.49	0.37	1.21	0.22	0.22	0.77	0.63	0.46	1.55	0.46	0.45	1.52	0.24	0.22	0.86	0.46	0.37	1.47	0.43	0.34	1.26	0.22	0.19	0.72
APE.11		0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.17	0.17	0.17
APE.12		0.59	0.51	0.49	0.50	0.45	0.41	0.26	0.24	0.24	0.64	0.62	0.57	0.56	0.49	0.45	0.26	0.25	0.25	0.46	0.37	0.33	0.43	0.32	0.28	0.22	0.19	0.18
APE.13		0.85	0.77	0.71	0.73	0.62	0.61	0.36	0.35	0.34	0.94	0.84	0.77	0.74	0.65	0.64	0.36	0.35	0.34	0.66	0.54	0.45	0.61	0.45	0.40	0.30	0.26	0.25

ANNEXE 7. Économies (kWh/an) pour tous les bâtiments, par scénario, zones 6 et 7

Saved kWh/yr	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Maison en rangée (avec thermopompe)	meuble résidentiel (sans climatisation)	meuble résidentiel (sans climatisation)	meuble résidentiel (sans climatisation)	meuble résidentiel (avec climatisation)	meuble résidentiel (avec climatisation)	meuble résidentiel (avec thermopompe)	meuble résidentiel (avec thermopompe)	meuble résidentiel (avec thermopompe)		
	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005		
ZONE 6																												
APE.1	16510	117205604	44066544	55627883	48782000	18478104	29169966	26309311	9909508	23245519	38444251	20688034	9548170	17318165	8352752	1276802	2125286	1136258	121357798	55410943	47688235	51743371	25242415	21410026	1105441	535405	444697	
APE.2	883130128	261759183	75739373	35531534	104068266	29449479	187984224	54906389	15690054	83983811	45526087	19096647	33572597	20426553	7693324	4441051	2361429	1010007	485431193	87739993	56859049	211472907	30290898	23880414	4495462	785261	503990	
APE.3	1421196166	496170392	15285825	57078520	195127998	60053839	301422979	104093362	31380108	134224126	87005410	39254218	53592954	38632829	1560457	7050169	4565430	2020014	776689909	166232829	113718099	337456766	59572099	48584290	7148522	1534829	1007981	
APE.4	747765075	492263538	136330871	285392660	18862732	51969669	144229275	93798414	25599562	70486413	87005410	35010519	27412488	36856607	13408365	3441815	4171858	1683345	867954496	230878929	141230542	236219736	94911480	56818915	4716550	1856072	1126567	
APE.5	1052737901	757929575	254759709	403903172	289439864	97010048	202569206	144122970	47895954	99730775	133543187	65777339	38500685	56839105	25058256	4885156	6454573	3156271	509515781	355555551	260451129	330707631	144386614	105403205	6632649	2855495	2045608	
APE.6	105273790	74280216	12393716	41115892	29269200	4619526	21067197	14870480	2477377	16496820	23288889	530462	6468115	10213277	2138093	832697	1180715	294585	155337982	78498836	29346606	69741065	33319988	12351938	1473922	713874	266818	
APE.7	216181795	1319109874	453874994	871956000	533992259	184069353				240989838	293547593	148281732	97148215	131757315	60132394				1304143304	501780856	351187266	577369104	214412043	158205424				
APE.8	3052939913	1863569110	640341971	1226221006	749616728	258116022	380830108	234496035	81340543																			
APE.9	99425246	82043923		48371637	40651666		7786575	66345220		14997109	25292270		7392132	11101388		3164249	5116430		140775046	83116415		65241641	39378167		4863942	2784108		
APE.10	29242719	23441121	2754159	12092909	11382467	1154882	21067197	18302130	2477377	4499133	7081836	1060925	2156038	3108389	659428	832697	1416858	252502	111649174	23087893	7336652	17997694	11106663	3293850	1326530	749568	207525	
APE.11	138871111	116993046	4649326	55230512	46504438	18490968	57358636	48296331	19203455	27070898	42552067	25689154	10796383	16923408	10216849	2817082	4428101	2673294	222724096	112451134	99643396	88579733	44733008	39630030	4048164	2043877	1811214	
APE.12	52636895	46882742	23410352	26604401	22784933	11548815	43754849	36604259	18167431	8248410	14163671	10078786	4312077	6216777	5055613	1776421	2912429	2020014	92231927	55410943	62361538	26525212	30468114	3242628	1856072	2104901		
APE.13	64333983	54689949	27541590	31441564	27643133	13858578	53478271	44611441	21883496	104697976	17198744	12200635	4928088	7548944	5994850	2109499	3463430	2440850	111649174	66954890	75200678	53993083	32310291	36232352	3905893	2213009	2519952	

Saved kWh/yr	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (sans climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec climatisation)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison individuelle (avec thermopompe)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (sans climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec climatisation)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Maison en rangée (avec thermopompe)	Maison en rangée (avec thermopompe)	meuble résidentiel (sans climatisation)	meuble résidentiel (sans climatisation)	meuble résidentiel (sans climatisation)	meuble résidentiel (avec climatisation)	meuble résidentiel (avec climatisation)	meuble résidentiel (avec thermopompe)	meuble résidentiel (avec thermopompe)	meuble résidentiel (avec thermopompe)		
	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	pre1983	1983-2005	post 2005	
ZONE 7																												
APE.1	112818846	98908615	37412404	45636472	39206171	15038091	24292759	20782087	7703053	19641659	32522964	17239956	7911022	12876275	7013016	1071393	1705330	931936	102402271	46370675	37256856	44267900	20216645	16076613	1048094	425721	328593	
APE.2	747424853	218797844	61314773	298538589	86988693	24152085	155473659	44889308	12443394	70829014	38717814	16438097	28048169	15388719	6360642	3667462	1989552	841749	413547635	72132161	23124945	177071602	30699349	18458333	4137212	626061	369667	
APE.3	1208101806	416615073	124708014	479182958	164175843	49215569	249000782	84790916	25183059	113088341	73563847	32876195	44829125	29207161	12884378	5851457	3751726	1683497	653799118	137394593	50104048	280930907	57654876	37512096	6509213	1176995	759872	
APE.4	629905222	410620612	112237212	245290308	158049878	69722057	123893072	78971932	21035261	60115381	73563847	29608761	23493338	28579050	11416537	3008143	3638037	1442998	48441515	188917566	110485850	202610775	76373991	44657257	4578514	1502546	842020	
APE.5	893149195	632415687	209925156	359387219	241362993	106633734	176122504	120536106	39107809	85113857	113056017	55328230	33082456	43653714	21202141	4244366	5570745	2675558	681368960	286811213	202985631	284336130	115309751	81573924	6454050	2253820	1540281	
APE.6	89314920	65939076	10392334	36128874	25729050	4101297	18219569	13300536	2073899	14880045	20133263	4811150	5753471	8165443	1794027	741734	1023198	240500	141787760	66979864	24409664	61294016	28453056	10122312	1434233	575976	205371	
APE.7	1833472544	1067991900	360584187	733049614	429294494	159220383				206784767	243053925	121193899	82594596	97514303	48691936				1131285323	413643699	257621789	490497031	181445384	128972406				
APE.8	2585431881	1435673526	507145922	1032525183	604020078	224204261	314591231	186207502	63402053																			
APE.9	51708638	44958461		22818236	22053471		47370880	41564174		7142422	13164057		3356191	6281110		1895542	3126438		70893880	48088108		30647008	21714174		2758141	1752971		
APE.10	14102356	11988923	2078467	5704559	6125964	911399	13361018	10806685	1481356	1786505	3871716	801858	958912	1570277	326187	494489	852665	150312	19692745	137939459	3854158	8513058	5990117	1786290	772279	475806	143760	
APE.11	94276478	79381385	31564410	37494754	31570818	12553103	38939489	32787294	13036795	18377824	28887643	17439789	7309055	11488922	6935989	1912454	3006138	1814839	67558733	341097195	30225363	26868824	13565796	12020947	2444189	1234046	1093515	
APE.12	28204711	26975077	13510035	13310638	12251929	6379796	26722035	23275938	11554580	4166413	6969207	5212080	1917824	3454610	2609494	1071393	1762174	1232560	47262587	32631216	41111014	20431339	14975292	19053763	1820373	1176995	1375984	
APE.13	32905497	29972307	15588502	15212157	14702314	7291195	31580587	27432355	13628479	4761614	8517919	6414867	2397279	4396777	3098774	1277431	2103240	1503123	55139685	37783513	50104048	23836562	17970351	22626344	2206513	1402377	1642966	

8. BIBLIOGRAPHIE

Agence Internationale de l'Énergie. Consulté en ligne :

<https://www.iea.org/statistics/efficiency/>

ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90 (2007). Normative Appendix B – Building Envelope Climate Criteria. Consulté en ligne:

http://www.ditar.cl/archivos/Normas_ASHRAE/T1160ASHRAE-90.1-2007-Energy-Std.pdf

Boyer D. (2016). Le potentiel technico-économique de réduction des émissions de GES du secteur résidentiel au Québec, Montréal : Écohabitation. Consulté en ligne :

https://www.ecohabitation.com/media/archives/sites/www.ecohabitation.com/files/page/etude_sur_le_potentiel_de_reduction_des_ges_du_secteur_residentiel_au_quebec.pdf

Peuportier Bruno (2015). Énergétique des bâtiments et simulation thermique : modèles, mise en œuvre, études de cas. Livre papier édité par Collectif Eyrolles.

Chaire de gestion du secteur de l'énergie HEC Montréal (2021). État de l'énergie au Québec, édition 2021. Consulté en ligne :

https://energie.hec.ca/wp-content/uploads/2021/02/EEQ2021_web.pdf

CIRANO, Le Québec économique (2021). Démographie par région administrative, 2019. Consulté en ligne :

<https://qe.cirano.qc.ca/theme/regions/ensemble-regions/tableau-demographie-region-administrative-2019>

DesignBuilder (2021). Software. Consulté en ligne:

<https://designbuilder.co.uk/>

Direction de l'information légale et administrative, Gouvernement français. Éco-prêt à taux zéro (éco-PTZ) (2021). Consulté en ligne :

<https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F19905>

MERN (2018). Plan directeur en transition, innovation et efficacité énergétiques du Québec 2018-2023. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles Québec (MERN). Consulté en ligne :

<https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/plan-directeur-en-transition-energetique>

Helios Exchange (2021). Consulté en ligne:

<https://helios-eex.com/>

Hydro-Québec (2021). Tarif D. Consulté en ligne :

<https://www.hydroquebec.com/residentiel/espace-clients/tarifs/tarif-d-tarification.html>

Ministère de l'énergie et des Ressources naturelles, Québec (2021). Prix de l'électricité. Consulté en ligne :

<https://mern.gouv.qc.ca/energie/statistiques-energetiques/prix-electricite/>

NAIMA Canada (2015). Codes and Standards, map of Canada exhibiting zones as defined by the national codes. Consulté en ligne:

<https://www.naimacanada.ca/codes-standards/>

Technosim (2011). Potentiel technico-économique d'économie d'énergie électrique au Québec Secteurs résidentiel, commercial et institutionnel (CI) et agricole, Mise à jour 2010, Rapport technique, St-Jean-Chrysostome : Technosim. Consulté en ligne :

http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/Suivis/SuiviD-2011-028_PTE/HQD_PTE_Revision2010_SecteursR-CI-A_30juin2011.pdf

Pierre Couture, Le journal de Québec (2019). Surplus énergétiques : Hydro-Québec perd des ventes de 1G\$ par année. Consulté en ligne :

<https://www.journaldequebec.com/2019/10/04/hydro-quebec-perd-des-ventes-dun-milliard-par-annee>

Ressources naturelles Canada (2021). Base de données complète sur la consommation d'énergie, Secteur résidentiel, Québec. Consulté en ligne :

https://oe.rncan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/menus/evolution/complet/evolution_res_qc.cfm