

RAPPORT D'ANALYSE DES DÉPENSES D'EXPLOITATION (OPEX)

Analyse de la position concurrentielle de différents systèmes de chauffage au Québec

Présenté à

Équiterre, Greenpeace, Nature Québec, le Regroupement des organismes environnementaux en énergie (ROÉÉ), le Réseau vigilance hydrocarbure Québec (RVHQ) et le Syndicat canadien de la fonction publique (SCFP-Québec)

Consultants Écohabitation — 21 octobre 2022

SOLUTIONS
EN SCIENCE DU
BÂTIMENT DURABLE

DURABILITÉ
Résilience

ÉCOQUARTIERS

Ce rapport a été réalisé par Écohabitation

Écohabitation est un organisme à but non lucratif qui facilite l'émergence d'habitations saines, économes en ressources et en énergie, abordables, accessibles à tous et caractérisées par leur durabilité. L'organisme réalise des activités de promotion, de sensibilisation, de formation et d'accompagnement auprès du grand public, des intervenants du secteur de l'habitation et des décideurs.

Fondé en 2001, Écohabitation est un organisme indépendant qui accompagne les professionnels et les particuliers dans la réalisation de leurs projets durables par l'information, l'accompagnement, la certification et la formation. En 2020, le site Web Écohabitation a fêté ses 20 ans !

Par ses interventions auprès des décideurs publics, ses engagements auprès du public, ses activités de formation, ses nombreux articles sur son site web et sa présence auprès de la collectivité, Écohabitation a gagné la réputation d'être **La** référence en habitation.

Écohabitation

6001, rue St-Hubert
Montréal (Québec) Canada
H2S 2L8

Téléphone : 514.985.0004
Sans frais : 1.855.400.0326

www.ecohabitation.com

Équipe de travail

Alicia Ruel, CPI

Conseillère technique, Écohabitation
Recherche, analyse, simulation et rédaction

Ian Sabourin-Somers, CPI, M. Ing.

Conseiller technique, Écohabitation
Recherche, calcul, analyse, simulation et rédaction

Denis Boyer, ing., B. Sc., M. Ing.

Coordonnateur en efficacité énergétique, Écohabitation
Révision

Glossaire / Acronymes

AT : Accumulateur thermique, aussi appelé accumulateur de chaleur

ATC : Accumulateur thermique centralisé (ou central)

ATL : Accumulateur thermique local

CAH : Changement d'air à l'heure, un indicateur du taux de remplacement de l'air dans un espace, généralement mesuré à une pression de 50 Pascal, sauf indication contraire.

CCQ : Code de Construction du Québec

CNB : Code national du bâtiment

CNÉB : Code national de l'énergie des bâtiments – Canada

ECD : Eau chaude domestique

GES : Gaz à effet de serre

GN : Gaz naturel

GNR : Gaz naturel renouvelable (ou Gaz naturel de source renouvelable)

LTE : Laboratoire des technologies de l'énergie situé à Shawinigan (Hydro-Québec)

OPEX : *Operational Expenditures* ou Dépenses d'exploitation

SIMEB : Simulation énergétique des bâtiments (https://www.simeb.ca:8443/index_fr.jsp)

TAÉ : Tout à l'électricité

TAG : Tout au gaz (dans ce rapport, la signification est : chauffage des espaces au gaz)

VRC : Ventilateur récupérateur de chaleur

VRE : Ventilateur récupérateur d'énergie

Sommaire exécutif

Le Québec est en pleine transition énergétique. Afin de parvenir aux objectifs fixés en termes de diminution des GES, plusieurs options sont proposées, pour entre autres, diminuer l'impact du parc immobilier québécois sur l'environnement. Afin d'évaluer l'impact financier de différentes options envisagées pour atteindre ces objectifs dans le secteur résidentiel, les Clients (Équiterre, Greenpeace, Nature Québec, le Regroupement des organismes environnementaux en énergie [ROEE], le Réseau vigilance hydrocarbure Québec [RVHQ] et le Syndicat canadien de la fonction publique [SCFP-Québec]) ont mandaté Écohabitation pour estimer les dépenses d'exploitation (OPEX) d'un système de chauffage électrique avec accumulateur thermique par rapport à un système biénergie dans un contexte équivalent. Trois variations d'une maison unifamiliale de 1700 pi² ont été simulées : une maison typique construite entre 1986 et 2012, une maison construite selon le Code de Construction du Québec (éd. 2012), ainsi qu'une maison écoénergétique et performante basée sur la certification Novoclimat. Pour chaque modèle, plusieurs systèmes centralisés à air chaud ont été évalués, soit :

- Un système de chauffage électrique (fournaise, combinée ou non à une thermopompe standard ou à une thermopompe climat froid) ;
- Un système de chauffage électrique avec gestion de la pointe (ajout d'un accumulateur thermique central au système de chauffage électrique) ;
- Un système de chauffage des espaces tout au gaz (avec appareils âgés ou récents) ;
- Un système de chauffage des espaces à la biénergie (avec les nuances des systèmes précédents).

Les constats principaux sont les suivants :

1. Les accumulateurs thermiques permettent de déplacer l'entièreté de la charge de chauffage aux périodes de pointe vers des périodes où le réseau électrique peut répondre à la demande ;
2. La position concurrentielle des accumulateurs thermiques, combinés à une thermopompe a été démontrée autant pour l'année 2021 que pour l'année 2022 où les coûts du gaz naturel ont grandement augmentés ;
3. Pour un client typique à la biénergie en 2022, le surcoût par rapport à un système de chauffage électrique efficace avec gestion de la pointe est en moyenne 20-23 % plus cher et jusqu'à 32 % plus cher ;
4. Il en coûte jusqu'à moitié moins cher en 2022 de recourir à un système de chauffage électrique efficace avec gestion de la pointe que d'utiliser un système de chauffage des espaces au gaz ;
5. Une amélioration de l'enveloppe, des systèmes mécaniques (Ventilateur à récupération de chaleur) et de l'étanchéité peut réduire l'appel de puissance dû au chauffage jusqu'à 29 %.

TABLE DES MATIÈRES

1. MISE EN CONTEXTE	1
1.1. MANDAT.....	1
2. DESCRIPTION DES BÂTIMENTS	3
2.1. PREMIER CAS TYPE : CONSTRUCTION EXISTANTE	4
2.1.1. <i>Caractéristique des systèmes d'un bâtiment existant</i>	4
2.2. DEUXIÈME CAS TYPE : NOUVELLE CONSTRUCTION SELON LES NORMES EN VIGUEUR	5
2.2.1. <i>Caractéristique des systèmes d'un bâtiment construit selon le CCQ</i>	5
2.3. TROISIÈME CAS TYPE : NOUVELLE CONSTRUCTION EFFICACE NOVOCLIMAT 2.0.....	5
2.3.1. <i>Caractéristique des systèmes pour un bâtiment Novoclimat</i>	6
3. CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE	7
3.1. LOGICIELS DE SIMULATION	7
3.2. DONNÉES DE SIMULATION	7
3.3. RÉSULTATS DE SIMULATIONS	8
3.4. QUALITÉ DES RÉSULTATS.....	9
4. DESCRIPTION DES SYSTÈMES DE CHAUFFAGE	10
4.1. TARIFS APPLICABLES.....	12
4.1.1. <i>Tarif électrique D</i>	12
4.1.2. <i>Tarif Flex D</i>	12
4.1.3. <i>Tarif gazier D1</i>	12
4.1.4. <i>Tarif DT</i>	13
5. COÛTS OPÉRATIONNELS.....	14
5.1. COMPARAISON DES SYSTÈMES	14
5.1.1. <i>Systèmes de chauffage TAÉ</i>	14
5.1.2. <i>Systèmes de chauffage au gaz</i>	15
5.1.3. <i>Systèmes biénergie</i>	17
5.1.4. <i>Synthèse des résultats clés</i>	19
5.2. COÛT D'ENTRETIEN DES SYSTÈMES ET FRAIS DIVERS	20
5.3. DIFFÉRENCES TYPOLOGIQUES	21
5.4. COÛT ENVIRONNEMENTAL DU GAZ	21
6. CONSTATS FACE AU PLAN D'APPROVISIONNEMENT GAZIER.....	23
6.1. CONSTAT PAR RAPPORT AU GAZ.....	23
6.2. CONSTAT PAR RAPPORT À LA BIÉNERGIE.....	25
7. RECOMMANDATIONS	28
7.1. UNE VRAIE SOLUTION AUX ENJEUX DE POINTES ÉLECTRIQUE DU RÉSEAU	28
7.2. L'ENJEU DE LA POINTE ÉLECTRIQUE DU RÉSEAU ET LA FAUSSE SOLUTION DE LA BIÉNERGIE.....	28

7.3. REMPLACER SON VIEUX SYSTÈME AU GAZ PAR UN NEUF, BONNE OU MAUVAISE IDÉE ?	29
7.4. RÉFORME DE LA STRUCTURE TARIFAIRE	29
7.5. VARIA	30
8. CONCLUSION	31
9. RÉFÉRENCES	32
ANNEXE A. SIGNAUX ÉMIS DES ÉVÉNEMENTS DE POINTE D'HYDRO-QUÉBEC	ANNEXE A-I
ANNEXE B. EXTRAITS DU CLASSEUR POUR EXEMPLE DE CALCULS	ANNEXE B-I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1	Caractéristiques architecturales du bâtiment simulé	3
Tableau 2-2	Résistances thermiques de l'enveloppe du bâtiment existant	4
Tableau 2-3	Résistances thermiques de l'enveloppe du bâtiment au Code	5
Tableau 2-4	Résistances thermiques de l'enveloppe du bâtiment selon Novoclimat 2.0	5
Tableau 3-1	Éléments pris en compte dans la simulation pour le calcul de la charge de chauffage	7
Tableau 3-2	Paramètres de simulation	7
Tableau 3-3	Consommation énergétique annuelle par typologie	8
Tableau 3-4	Comparaison relative des différents cas types	8
Tableau 4-1	Efficacité des systèmes au gaz	11
Tableau 4-2	Tarif gazier D1	13
Tableau 5-1	Coûts opérationnels de chauffage pour les systèmes TAÉ	14
Tableau 5-2	Coût opérationnel en chauffage pour les systèmes au gaz selon les coûts de 2022	15
Tableau 5-3	Coût opérationnel en chauffage pour les systèmes au gaz selon les coûts de 2021	16
Tableau 5-4	Coût opérationnels biénergie selon les coûts du gaz 2022 et pour de nouveaux appareils	17
Tableau 5-5	Coût opérationnels biénergie selon les coûts du gaz 2021 et pour de nouveaux appareils	18
Tableau 5-6	Tableau résumé des résultats	19
Tableau 5-7	Coût d'entretien et durée de vie des systèmes en fonction du type de client	20
Tableau 5-8	Émissions de gaz à effet de serre annuelles	22
Tableau 6-1	Comparaison des coûts opérationnels entre le Plan d'approvisionnement gazier et les résultats d'Écohabitation	23
Tableau 6-2	Coût relatif des scénarios tout au gaz par rapport au système tout à l'électricité avec thermopompe climat froid et accumulateur de chaleur	24
Tableau 6-3	Coûts relatifs des scénarios de chauffage électrique avec gestion de pointe par rapport à la biénergie avec équipements équivalents	25
Tableau 6-4	Coûts relatifs des scénarios biénergie par rapport aux scénarios avec accumulateurs avec équipements équivalents	26
Tableau 6-5	Surcoût relatif des scénarios biénergie avec anciens équipements par rapport à leur correspondance tout à l'électricité avec gestion de pointe	26
Tableau 6-6	Surcoût relatif des scénarios biénergie avec nouveaux équipements au gaz par rapport à leur correspondance tout à l'électricité avec gestion de pointe	27
Tableau 9-1	Liste des signaux de pointe émis	Annexe A-I
Tableau 9-2	Nombre de jours par période de consommation pour le tarif électrique	Annexe B-I
Tableau 9-3	Calcul de la facture énergétique annuelle pour la fournaise électrique dans le bâtiment existant au tarif électrique D	Annexe B-I

Tableau 9-4	Calcul de la facture énergétique annuelle 2021 pour une ancienne fournaise au gaz dans le bâtiment existant au tarif gazier D1	Annexe B-II
Tableau 9-5	Calcul de la portion électrique de la facture énergétique annuelle pour une fournaise électrique dans le bâtiment existant au tarif DT	Annexe B-II
Tableau 9-6	Calcul de la facture annuelle de la fournaise électrique pour le bâtiment existant au tarif Flex D	Annexe B-III

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1	Architecture du bâtiment simulé.....	4
Figure 4-1	Évolution du coût de la molécule de gaz	13

1. Mise en contexte

Le Québec est en pleine transition énergétique. Afin de parvenir aux objectifs fixés en termes de diminution des GES, plusieurs options sont proposées, pour entre autres, diminuer l'impact du parc immobilier québécois sur l'environnement.

Dans ce contexte, la biénergie est mise de l'avant par certains comme étant une solution rendant accessible financièrement la décarbonisation du secteur du bâtiment. Elle consiste à utiliser l'électricité comme source d'énergie principale pour le chauffage et le gaz naturel (GN) comme source d'appoint lors de périodes de grand froid (température extérieure inférieure à -12 °C). L'utilisation de cette technologie permet de réduire la pression sur le réseau électrique d'Hydro-Québec en période de pointe. Effectivement, la production découlant de l'hydroélectricité et des autres sources d'énergie au Québec ne parvient pas toujours à subvenir aux besoins des clients en période de pointe hivernale. Pour satisfaire cette demande, l'électricité doit alors être importée et provient généralement d'une source d'énergie plus polluante que celles utilisées au Québec en plus d'être beaucoup plus chère. De plus, avec les objectifs d'électrification de plusieurs secteurs dont celui du transport, il est nécessaire de trouver des solutions pour limiter la demande aux pointes et éviter le manque d'électricité. C'est pourquoi, bien que ce soit un discours contradictoire, certains estiment que l'utilisation d'un combustible fossile pour le chauffage des bâtiments au Québec contribue à la décarbonisation du secteur en apportant une solution au problème de pointe.

La combustion du gaz naturel génère toutefois beaucoup d'émissions de gaz à effet de serre et le recours à la biénergie n'est pas une solution adéquate pour pallier la crise environnementale. Dans le secteur du bâtiment, l'ajout ou le remplacement d'un système au gaz crée un enfermement technologique qui demeurera une source majeure de pollution pour encore des dizaines d'années. Heureusement, il existe d'autres technologies, comme les accumulateurs thermiques (AT) qui ont fait leur preuve pour passer à un bâtiment tout à l'électricité (TAÉ) sans impacter la pointe du réseau. Les accumulateurs permettent de déplacer la consommation énergétique en dehors de la période de pointe afin d'emmagasiner de l'énergie qui est ensuite relâchée en période critique. Il est également possible d'agir sur d'autres aspects du bâtiment afin de réduire son impact sur la pointe. De manière générale, plus un bâtiment est efficace, plus sa consommation énergétique est basse et plus l'impact sur la pointe s'en voit réduit. L'efficacité d'un bâtiment dépend de la performance des systèmes mécaniques installés et de son enveloppe.

1.1. Mandat

Les Clients (Équiterre, Greenpeace, Nature Québec, le Regroupement des organismes environnementaux en énergie [ROEÉ], le Réseau vigilance hydrocarbure Québec [RVHQ] et le Syndicat canadien de la fonction publique [SCFP-Québec]) ont mandaté Écohabitation afin d'évaluer les dépenses d'exploitation (OPEX) d'un système TAÉ avec accumulateur thermique par rapport à un système biénergie dans un contexte équivalent. Plus précisément, il convient d'évaluer la position concurrentielle de la combinaison thermopompe et accumulateur par rapport au gaz naturel et par rapport aux combinaisons biénergie/GN et biénergie/GNR (gaz naturel renouvelable). La position concurrentielle d'un système par rapport à la référence se définit comme le rapport de leurs coûts d'opération.

Ce rapport présente les coûts opérationnels de différents systèmes pour trois modèles de bâtiment. Ces cas types sont utilisés afin de bien représenter différents bâtiments du parc immobilier résidentiel québécois.

Afin d'évaluer les coûts d'opérations des différents systèmes et d'être en mesure de les comparer sur une base similaire, trois simulations énergétiques sont réalisées, une par typologie de bâtiment. De ces simulations est retirée la consommation énergétique détaillée de chaque bâtiment et les coûts opérationnels associés sont calculés en fonction des différents tarifs applicables. Avec ses informations, il est possible d'évaluer la position concurrentielle des différents systèmes.

Ce rapport contient notamment :

- La description des bâtiments à l'étude ;
- La description des hypothèses et des modèles utilisés dans les simulations ;
- La description des systèmes mécaniques à l'étude et le tarif utilisé en fonction de ceux-ci pour calculer la consommation énergétique ;
- Les coûts d'opération comparatifs ;
- Les recommandations et conclusions ;
- La liste des références.

2. Description des bâtiments

Tel que mentionné précédemment, trois bâtiments typiques du parc immobilier résidentiel québécois sont modélisés afin d'évaluer leur consommation énergétique et de comparer différents systèmes entre eux. Il est à noter que les trois simulations sont établies selon la même architecture, soit une maison unifamiliale avec un sous-sol, un rez-de-chaussée et un étage. De cette façon, il est possible de comparer les bâtiments entre eux et d'observer le gain énergétique réalisable en améliorant les composantes d'enveloppe du bâtiment et ses systèmes mécaniques. Les trois variations du bâtiment sont :

- Un bâtiment existant construit entre 1986 et 2012 (Boyer, 2016) ;
- Un bâtiment construit selon le Code en vigueur, soit le Code de construction du Québec – 2012, ci-après CCQ 2012 (Gouvernement du Québec, 2012) ;
- Un bâtiment neuf construit selon les exigences Novoclimat 2.0 (Gouvernement du Québec, 2021).

Les caractéristiques typiques de bâtiments construits entre 1986 et 2012 ont fait l'objet d'une étude d'Écohabitation (Boyer, 2016) par le passé et ont servi de base pour définir l'architecture des bâtiments. Les principales caractéristiques architecturales sont présentées dans le tableau 2-1. Ces caractéristiques issues de l'étude représentent des valeurs moyennes basées sur plusieurs bâtiments du même genre au Québec. Il est à noter que la surface habitable se répartie sur deux étages (rez-de-chaussée et premier niveau), mais que le bâtiment comporte également un sous-sol non fini et chauffé à 15 °C seulement.

Tableau 2-1 Caractéristiques architecturales du bâtiment simulé

Description de la caractéristique	Valeur	Unité
<i>Superficie habitable</i>	158 [1700]	m ² [pi ²]
<i>Superficie de murs</i>	180	m ²
<i>Superficie de toiture</i>	112	m ²
<i>Superficie de fenêtres</i>	24	m ²
<i>Profondeur sous-sol</i>	8	pieds
<i>Surface du mur sous-sol hors sol</i>	6,4	m ²
<i>Surface totale du mur sous-sol dans le sol</i>	77,4	m ²
<i>Volume</i>	753	m ³
<i>Consommation spécifique</i>	137	kWh/m ²
<i>Nombre d'occupants</i>	3,6	personnes
<i>Orientation de la façade du bâtiment</i>	150	degrés-Nord

Le modèle construit dans SketchUp à l'aide de ces caractéristiques est représenté à la figure 2-1.

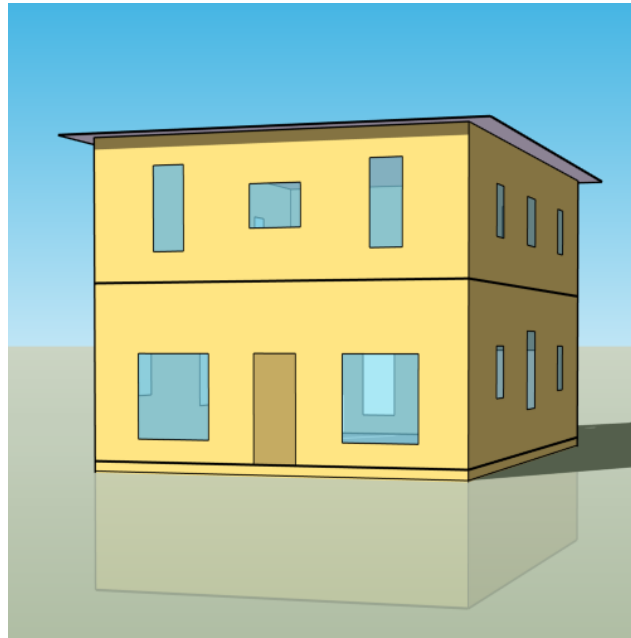


Figure 2-1 Architecture du bâtiment simulé

2.1. Premier cas type : construction existante

Le premier cas type correspond à une maison unifamiliale typique, construite entre 1986 et 2012. Ce type de logement représente une partie de la clientèle qui pourrait avoir un système de chauffage utilisant des énergies fossiles. Les caractéristiques d'enveloppe pour le premier modèle, tirée de l'étude d'Écohabitation citée précédemment, sont illustrées au tableau 2-2. Elles représentent des valeurs de résistances thermiques moyennes sur l'ensemble des bâtiments qui ont été sondés dans l'étude de 2016 et correspondant au premier cas type.

Tableau 2-2 Résistances thermiques de l'enveloppe du bâtiment existant

Composantes de l'enveloppe	R effectif
<i>Mur de fondation</i>	9,9
<i>Dalle</i>	3
<i>Murs extérieurs</i>	19
<i>Toit</i>	21,5
<i>Fenêtres</i>	2,0

2.1.1. Caractéristique des systèmes d'un bâtiment existant

Il est considéré que le bâtiment existant n'a pas de système de récupération de chaleur. En effet, il était inusité d'installer de tels systèmes dans les anciennes habitations pour l'apport d'air frais. L'infiltration à travers les parois de l'enveloppe était considérée suffisante pour amener l'air frais nécessaire aux occupants. Le taux d'infiltration considéré pour ce cas est de 4 CAH à 50 Pa.

2.2. Deuxième cas type : nouvelle construction selon les normes en vigueur

L'architecture du deuxième archétype est la même que celle présentée pour le bâtiment existant dont les caractéristiques principales sont énumérées au tableau 2-1. Ce type d'habitation représente une autre partie de la clientèle, plus récente, qui pourrait également avoir une consommation d'énergie d'origine fossile. Il s'agit d'une maison unifamiliale typique, construite selon le Code en vigueur au Québec soit le Code de construction du Québec – 2012 (Gouvernement du Québec, 2012). La partie 11 du Code – Efficacité énergétique, est la référence pour définir les caractéristiques de l'enveloppe qui sont présentées au tableau 2-3. Spécifions que ce Code prescrit le minimum en termes d'efficacité énergétique, mais que chaque municipalité peut imposer des exigences plus sévères.

Tableau 2-3 Résistances thermiques de l'enveloppe du bâtiment au Code

Composantes de l'enveloppe	R effectif
<i>Mur de fondation</i>	16,0
<i>Dalle</i>	5,0
<i>Murs extérieurs</i>	21,0
<i>Toit</i>	41,0
<i>Fenêtres</i>	3,1

2.2.1. Caractéristique des systèmes d'un bâtiment construit selon le CCQ

Pour ce qui est de la ventilation, le Code exige un taux de récupération de chaleur de 54 % à -25°C pour le VRC. Il est également supposé que le taux de changement d'air résultant de l'infiltration au travers de l'enveloppe soit de 2,5 CAH à 50 Pa. Finalement, pour cette simulation, il est supposé qu'aucun effort n'est déployé pour réduire la charge en eau chaude. Celle-ci est donc identique à celle du bâtiment existant.

2.3. Troisième cas type : nouvelle construction efficace Novoclimat 2.0

Le troisième bâtiment à l'étude est un bâtiment construit selon le programme Novoclimat 2.0 (Gouvernement du Québec, 2021). Ce programme est mis de l'avant par le projet de transition énergétique du Québec en matière de construction neuve. Il constitue un nouveau standard pour atteindre de meilleurs niveaux d'efficacité énergétique. La résistance thermique des composantes de l'enveloppe est présentée au tableau 2-4.

Tableau 2-4 Résistances thermiques de l'enveloppe du bâtiment selon Novoclimat 2.0

Composantes de l'enveloppe	R effectif
<i>Mur de fondation</i>	18,0
<i>Dalle</i>	6,1
<i>Murs extérieurs</i>	23,5
<i>Toit</i>	58,5
<i>Fenêtres</i>	4,7

2.3.1. Caractéristique des systèmes pour un bâtiment Novoclimat

La norme Novoclimat dicte également des exigences au niveau des systèmes mécaniques. Premièrement, tous les systèmes de chauffage doivent être homologués ENERGY STAR®. Cela comprend autant les chaudières au gaz naturel que les climatiseurs ou les différents types de thermopompes. Les chauffe-eau, qu'ils soient au gaz ou électriques, doivent également se soumettre à ce critère, tout comme les produits de portes et fenêtres. De plus, un ventilateur récupérateur de chaleur est obligatoire dans chaque habitation afin d'alimenter en air frais les espaces de vie, lequel est également sujet à l'homologation ENERGY STAR® et doit être certifié par le *Home Ventilating Institute* (HVI), selon la norme CAN/CSA-C439. L'efficacité de récupération sensible du VRC doit être minimalement de 70 % à 0°C et de 65 % à -25°C. Pour ce qui est de l'étanchéité à l'air, Novoclimat exige de réussir un test d'étanchéité avec un maximum de 1,5 CAH à 50 Pa. Finalement, le débit des robinets des lavabos et des douches est de 5,7 litres par minute (1,5 GPM). Il est considéré que la laveuse fonctionne uniquement à l'eau froide. Elle est également certifiée ENERGY STAR®, tout comme le lave-vaisselle, ce qui a pour effet de réduire considérablement la charge en eau chaude de la résidence.

3. Consommation énergétique

Cette section a pour objectif de présenter les hypothèses, les données de simulation énergétique ainsi que les résultats des simulations pour chaque typologie de bâtiment.

3.1. Logiciels de simulation

Pour réaliser les simulations, l'architecture est d'abord modélisée sur le logiciel SketchUp Pro 2022 en utilisant l'extension OpenStudio pour SketchUp. Le modèle est par la suite exporté sur OpenStudio version 1.3.1 afin de finaliser la modélisation énergétique. Ce logiciel permet d'extraire les résultats horaires de consommation énergétique sur une année (2021) complète. Ces données sont ensuite traduites en coût énergétique tel qu'il sera détaillé plus loin dans le rapport.

3.2. Données de simulation

Une fois les simulations réalisées, les données énergétiques horaires simulées servent de base pour calculer les coûts d'opérations. L'énergie de chauffage simulée représente la charge de chauffage réelle en gigajoules. La simulation prend en compte les informations présentées au tableau 3-1 dans le calcul de la charge de chauffage. L'utilisation des équipements et des espaces se base sur un horaire bien défini dans le CNÉB (voir Horaire G dans le CNÉB – Immeuble d'habitations) (CNRC, 2018).

Tableau 3-1 Éléments pris en compte dans la simulation pour le calcul de la charge de chauffage

Éléments ayant un impact sur la charge de chauffage	Effet sur la charge de chauffage	Commentaires
<i>Température extérieure/enveloppe</i>	Pertes	Fichier météo
<i>Ensoleillement</i>	Gains	Fichier météo
<i>Équipements électriques</i>	Gains	Réfrigérateur, ordinateurs, téléviseur, etc.
<i>Apport d'air neuf</i>	Pertes	Dépend de l'efficacité du VRC et de l'étanchéité de l'enveloppe
<i>Systèmes mécaniques autres</i>	Gains	Production d'eau chaude, pompes, etc.
<i>Occupants</i>	Gains	Dépend du nombre d'occupants et de leur activité métabolique

De façon plus détaillée, les différents paramètres de simulation considérés pour chacune des typologies sont présentés au tableau 3-2.

Tableau 3-2 Paramètres de simulation

	Typologie 1 - bâtiment existant	Typologie 2 - bâtiment au Code	Typologie 3 - bâtiment Novoclimat
<i>Nombre d'occupants</i>	3,6	3,6	3,6
<i>Charge au prise (W/m²)</i>	5	5	5
<i>Charge d'éclairage (W/m²)</i>	3	2	2
<i>Débit d'eau chaude considérée (L/min)</i>	0,54	0,54	0,36 *
<i>Efficacité VRC (%)</i>	-	54	70
<i>Taux d'infiltration (CAH)</i>	4	2,5	1,5

* Le débit d'eau chaude représente l'utilisation de l'eau dans l'ensemble du bâtiment dont la charge varie selon un horaire précis. À ne pas confondre avec le débit nominal des appareils comme le pommeau de douche à 5,7 L/min pour le bâtiment Novoclimat.

Les charges aux prises sont tirées du CNÉB pour ce type de bâtiment et constituent une valeur de base. Les charges d'éclairage sont également basées sur le Code et sur le fait qu'une partie des luminaires ont des ampoules à DEL et ce, peu importe le bâtiment. C'est pourquoi les charges ont été abaissées légèrement par rapport au Code pour considérer l'utilisation partielle d'ampoules qui consomment moins d'énergie.

Une température intérieure de 22 °C est considérée en hiver pour le chauffage du rez-de-chaussée et de l'étage, alors que le point de consigne du sous-sol est de 15 °C. Aucune climatisation n'est considérée pour les bâtiments. Enfin, l'utilisation du gaz, le cas échéant, sert uniquement au chauffage des espaces. Autrement dit, l'eau chaude domestique est produite par un chauffe-eau électrique et la cuisinière est électrique.

Les données météo réelles de Montréal (Dorval) pour l'année 2021, tirées de SIMEB, ont été utilisées pour les simulations. Les différents tarifs (2021, 2022) sont calculés sur les résultats horaires des simulations de l'année 2021.

Les signaux de pointe émis par Hydro-Québec pour l'année 2021 sont présentés à l'Annexe A. Les événements AM sont de 6 à 9h et les événements PM sont de 16 à 20h.

3.3. Résultats de simulations

Les résultats de simulations sont présentés dans le tableau 3-3 pour les différentes typologies de bâtiment.

Tableau 3-3 Consommation énergétique annuelle par typologie

Poste de consommation	Bâtiment existant	Bâtiment au Code	Bâtiment Novoclimat
	kWh	kWh	kWh
<i>Chauffage</i>	14 795	12 955	8 411
<i>Éclairage</i>	1 447	967	967
<i>Appareils électriques</i>	4 569	4 569	4 569
<i>Ventilateurs</i>	-	153	153
<i>ECD</i>	4 258	4 197	3 164
Total	25 069	22 841	17 264

Le tableau 3-4 présente les résultats relativement à la typologie dont la consommation est la plus grande, soit le bâtiment existant. Les données montrent que la qualité de la construction, définie par une enveloppe performante et des systèmes efficaces, a un impact considérable, autant sur la consommation énergétique totale annuelle que sur l'appel de puissance.

Tableau 3-4 Comparaison relative des différents cas types

Cas type	Consommation énergétique annuelle totale	Consommation énergétique annuelle en chauffage	Appel de puissance	Appel de puissance associé au chauffage
	kWh	kWh thermique	kW	kW thermique
<i>Bâtiment existant</i>	25 068	14 795	11,3	10,1
<i>Bâtiment au Code</i>	-9 %	-12 %	-4 %	-5 %
<i>Bâtiment Novoclimat</i>	-31 %	-43 %	-27 %	-29 %

Les calculs de coûts pour les différents scénarios ont été réalisés à partir des données énergétiques de chauffage (kWh thermique ou MJ) dans un chiffrier électronique. Des extraits du chiffrier ayant servi au calcul sont présentés en Annexe B.

Pour l'électricité, 1 kWh thermique = 1 kWh électrique dans le cas de la fournaise électrique et de l'accumulateur thermique. Dans le cas des thermopompes, nous évaluons en fonction du modèle de thermopompe, de sa capacité et de la température extérieure, la puissance d'alimentation que la thermopompe utilise et/ou la charge devant être comblée par l'appoint électrique le cas échéant. Lors de l'utilisation de l'ATC en période de pointe, nous prenons en compte l'utilisation du ventilateur pour faire circuler l'air dans les briques (environ 186 Watts, [Communications personnelles, Alain Moreau, LTE, 2022]). Pour le gaz, c'est le pouvoir calorifique utilisé par le distributeur de gaz pour la facturation qui a été utilisé, soit 37,89 MJ/m³ (Énergir, 2018, 2022a). En fonction de l'efficacité des appareils, nous obtenons ainsi un volume de gaz qui permet de combler la charge de chauffage. Pour la biénergie, c'est la température extérieure qui fait permuter le système de chauffage à un instant donné (-12°C à Montréal).

3.4. Qualité des résultats

Plusieurs hypothèses ont été posées afin de réaliser les simulations et les calculs. Par exemple, il a été supposé qu'aucun effort spécial n'a été déployé pour réduire la charge en eau chaude du bâtiment construit au Code.

Les tarifs Flex D et DT pénalisent la consommation en période de pointe. Il faut savoir qu'aucune mesure supplémentaire n'a été prise en compte hormis les contrôles de chauffage standard qui s'appliquent à chaque critère. Pour le Flex D, il est posé que l'accumulateur thermique installé (accumulateur thermique central, mais même efficacité pour un système décentralisé avec des accumulateurs thermiques locaux) est dimensionné pour subvenir aux besoins de chauffage pendant la pointe. Ainsi, 100 % de la charge de chauffage est déplacée en dehors de la période de pointe lorsqu'un ATC fait partie du système étudié. Cette hypothèse est crédible compte tenu de cas réels et des technologies disponibles pour le résidentiel tel que les différents cas à l'étude. Les pertes de chaleur de l'ATC sont aussi exclues car l'accumulateur se trouve à l'intérieur de l'espace à chauffer. Pour le cas de la biénergie, on suppose que les systèmes au gaz subviennent à 100 % des besoins en chauffage sous la température de permutation (-12°C pour le cas de Montréal dans l'étude).

Avec l'expérience et les commentaires d'utilisateurs réels, lors d'un événement de pointe (fine ou sous la température de permutation), les utilisateurs réduisent leur consommation de base (p. ex. moins d'utilisation d'eau chaude). Cependant, la réduction pendant une pointe fine (d'une durée maximale de 4h) est beaucoup plus aisée que de réduire sa consommation pendant plusieurs jours (ce qui peut être le cas de la biénergie).

Il a été constaté sur des factures réelles qu'il y avait un volume non nul de gaz mesuré pour le chauffage des espaces en été alors que le système est hors fonction. Ce volume (représentant mensuellement entre 10 et 20 m³) est probablement dû au brûleur/pilote et – nous espérons le moins possible – aux fuites de gaz naturel sur le système à l'intérieur du bâtiment. Il faut savoir que ces volumes aux coûts (financiers et environnementaux) non nuls ont été négligés pour les systèmes au gaz et à la biénergie.

4. Description des systèmes de chauffage

Pour chaque typologie, différents systèmes mécaniques pour le chauffage centralisé sont analysés. Ceux-ci sont présentés ci-dessous :

1. Tout à l'électricité (TAÉ) sans gestion de pointe ;
2. Tout à l'électricité (TAÉ) avec accumulateur(s) de chaleur afin de déplacer l'ensemble de la consommation électrique de chauffage ;
3. Chauffage des espaces au gaz naturel (GN). Les autres postes de consommation sont alimentés à l'électricité (dont l'eau chaude) ;
4. Système biénergie : Chauffage des espaces avec de l'électricité jusqu'à -12 °C (ciblé pour la région de Montréal) et chauffage au gaz naturel pour les températures plus basses. Les autres postes de consommation sont alimentés à l'électricité (dont l'eau chaude) ;

Trois équipements différents ont été étudiés pour le chauffage des espaces à l'électricité :

- A. Une fournaise électrique ayant un rendement de 100 % ;
- B. Une thermopompe standard (modèle Daikin DZ14 SA0301A) ;
- C. Une thermopompe pour climat froid (modèle Daikin DZ17 VSA301B).

Les thermopompes ont été recommandées par l'entrepreneur Géoservices¹ en fonction des critères suivants :

- Maison unifamiliale de 1700 pi² ;
- Système à air chaud centralisé ;
- Modèle de thermopompe standard et modèle pour climat froid.

Ces différents cas de figures seront analysés pour chacune des typologies à l'étude. Il faut considérer que les postes de consommation autres que le chauffage sont tous électriques autant pour les systèmes de chauffage TAÉ que pour les systèmes au gaz.

Pour ce qui est du chauffage au gaz, l'analyse des coûts d'opération sera conduite d'une part avec de vieux équipements et d'autre part avec de nouveaux équipements en considérant que ces derniers sont plus performants.

¹ Depuis 2007, cette entreprise québécoise œuvre dans le domaine de la climatisation et du chauffage résidentiel. Géoservices est l'entrepreneur ayant installé le plus d'accumulateurs thermiques dans le secteur résidentiel au Québec par l'entremise d'une collaboration étroite avec Hydro-Québec.

Site internet : <https://geoservices.ca/>

Pour un bâtiment existant ou au Code, il est possible que le système de chauffage ait été récemment changé ou qu'au contraire, il soit relativement âgé. Ces deux options sont abordées afin de tracer un portrait juste des différentes situations possibles.

La nouvelle norme Novoclimat proscrit les systèmes dont la source d'énergie principale est d'origine fossile (gaz naturel, propane, mazout). En effet, depuis le 1^{er} janvier 2021, le gaz naturel n'est plus admissible comme source d'énergie principale (Gouvernement du Québec, 2021). De plus, les valeurs pour l'efficacité des équipements au gaz, présentés au tableau 4-1, sont tirées du Plan d'approvisionnement gazier, horizon 2023-2026 (Énergir, 2022b).

Tableau 4-1 Efficacité des systèmes au gaz

Équipement au gaz	Efficacité du système
<i>Anciens équipements</i>	74 %
<i>Nouveaux équipements</i>	92 %

Le cas spécifique de la biénergie où les équipements récents au gaz ont une efficacité de 92 % sont assez représentatifs d'un cas de nouvelle construction pouvant être certifiée Novoclimat (à 3 % près en ce qui concerne l'efficacité des équipements au gaz – minimum de 95 %).

Finalement, puisque les systèmes biénergie utilisent à la fois des systèmes au gaz et des systèmes électriques pour effectuer le chauffage, tous les cas de figures présentés plus haut seront combinés et analysés pour ces systèmes tels qu'ils sont détaillés ici :

- i. Fournaise électrique + vieux équipements au gaz naturel
- ii. Fournaise électrique + équipements récents au gaz naturel
- iii. Thermopompe standard + vieux équipements au gaz naturel
- iv. Thermopompe standard + équipements récents au gaz naturel
- v. Thermopompe climat froid + vieux équipements au gaz naturel
- vi. Thermopompe climat froid + équipements récents au gaz naturel

4.1. Tarifs applicables

Pour chacun des systèmes présentés à la dernière sous-section, un tarif différent s'applique. Les tarifs électriques sont basés sur l'année 2022. Les frais d'accès au réseau électrique sont de 42,238 ¢ par jour.

4.1.1. Tarif électrique D

Le tarif D (Hydro-Québec, 2022) s'applique aux systèmes TAÉ. Il s'applique généralement à une clientèle résidentielle et agricole. Ce tarif comporte deux tranches de prix soit :

- 6,319 ¢/kWh pour l'équivalent de 40 kilowattheures par jour multipliés par le nombre de jours compris dans la période de consommation visée ;
- 9,749 ¢/kWh pour le reste de l'énergie consommée.

4.1.2. Tarif Flex D

Le tarif Flex D (Hydro-Québec, 2022b) s'applique également aux systèmes TAÉ et permet de réaliser certaines économies. En hiver (*1^{er} décembre d'une année au 31 mars de l'année suivante*), le coût de l'électricité est plus bas que le tarif de base en dehors des événements de pointe.

Hors-pointe, en hiver :

- 4,449 ¢/kWh pour l'équivalent de 40 kilowattheures par jour multipliés par le nombre de jours compris dans la période de consommation visée ;
- 7,650 ¢/kWh pour le reste de l'énergie consommée.

Le coût pendant les événements de pointe est cependant beaucoup plus élevé (51,967 ¢/kWh). Les événements de pointe sont des événements définis par Hydro-Québec qui totalisent au maximum 35 événements distincts ou 100 heures. L'intérêt de ce tarif est d'inciter les gens à réduire leur consommation pendant les périodes de pointe afin de faciliter le délestage du réseau électrique. Le reste de l'année le tarif D s'applique.

4.1.3. Tarif gazier D1

Le tarif D1 (Énergir, 2022a) s'applique aux systèmes au gaz. Le tarif correspond à la somme de deux éléments, soit des frais de base qui sont facturés par compteur selon le nombre de jours de la période de facturation, ainsi qu'un taux unitaire en fonction du volume de gaz retiré. Le coût du gaz varie grandement dans le temps. Le tableau 4-2 présente les coûts pour le gaz naturel et le gaz naturel renouvelable utilisés pour l'année 2021 et pour l'année 2022. Les coûts de chaque item (sauf gaz naturel fourni) sont basés, pour 2021 et 2022 sur des factures réelles.

Pour le SPEDE et du gaz naturel fourni de l'année 2021, c'est la moyenne sur l'année qui a été utilisée d'après le fichier Excel d'historique du prix de fourniture – 5 ans (Énergir, 2022c). Le coût du gaz naturel renouvelable fourni pour l'année 2021 est fixé selon la décision de la Régie de l'énergie (Régie de l'énergie, 2021a). Les autres items sont la moyenne de factures réelles obtenues, du mois de juillet 2021 à décembre 2021.

Le coût du GNR fourni pour l'année 2022 est fixé selon la décision de la Régie de l'énergie (Régie de l'énergie, 2021b). Tous les autres items de 2022, sont les valeurs en date du mois de septembre 2022 d'après des factures réelles obtenues. Les coûts utilisés sont présentés au tableau 4-2.

Tableau 4-2 Tarif gazier D1

Item de facturation	GN (2021)	GNR (2021)	GN (2022)	GNR (2022)	
Gaz naturel fourni	13,423	51,941	34,594	52,729	€/m ³
Transport	2,743	2,743	3,115	3,115	€/m ³
Équilibrage	3,931	3,931	3,890	3,890	€/m ³
Ajustements liés aux inventaires	-0,709	-0,709	-0,818	-0,818	€/m ³
Distribution	27,120	27,120	28,594	28,594	€/m ³
Système de plafonnement et d'échange de droits d'émission (SPEDE)	4,453	0,000	6,380	0,000	€/m ³
Frais de base	54,173	54,173	57,118	57,118	€/jour/appareil

La figure 4-1 illustre l'évolution du coût de la molécule de gaz naturel et montre la variation importante de la dernière année. L'hypothèse est que la crise climatique et autres contextes géopolitiques contribueront de plus en plus à une instabilité des coûts avec une tendance à la hausse.

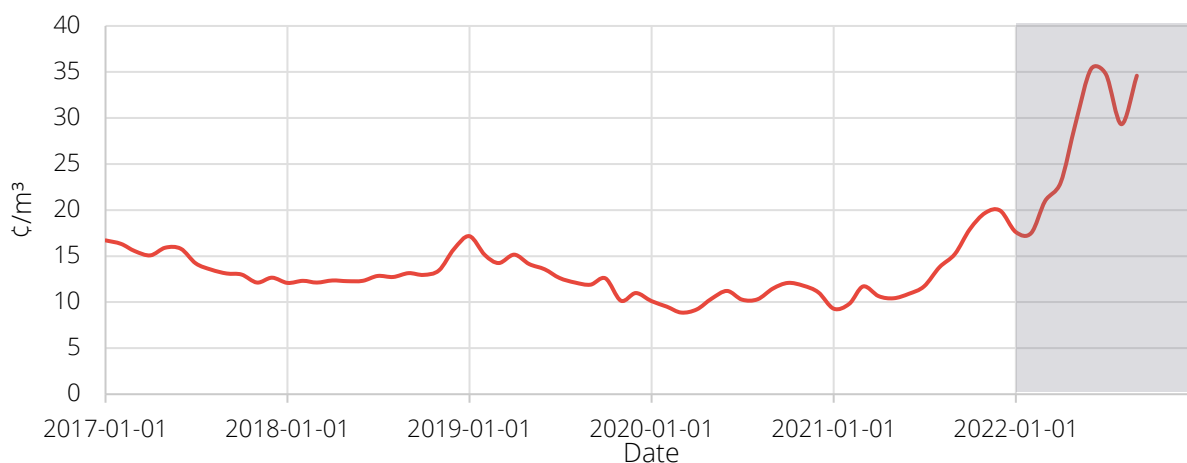


Figure 4-1 Évolution du coût de la molécule de gaz

4.1.4. Tarif DT

Le tarif électrique DT (Hydro-Québec, 2022a) est applicable aux systèmes biénergie et pour la clientèle résidentielle et agricole. Ce tarif est de 4,542 €/kWh durant la majorité de l'année et 26,555 €/kWh lorsque la température extérieure descend sous une température de permutation fixée (-12 °C dans la région de Montréal). Afin de réaliser des économies, le client doit utiliser la bonne source d'énergie au bon moment. Cela revient à utiliser le gaz par temps froid. Un indicateur lumineux, relié à une sonde de température extérieure, est fourni (*matériel, pas d'installation*) pour indiquer quelle tranche de facturation est en vigueur. L'appel de puissance du tarif DT peut être facturé si la puissance dépasse la valeur la plus élevée entre 50 kW ou 4 fois le multiplicateur (1 dans le cas de notre étude). La puissance maximale appelée dans le cas de l'étude est d'environ 12 kW, donc l'appel de puissance n'est pas facturé au tarif DT. Le tarif gazier D1 est applicable pour facturer le gaz utilisé par les systèmes biénergie.

5. Coûts opérationnels

Les calculs de coûts opérationnels ont été évalués pour chaque système et pour chaque cas type. La section suivante a pour objectif de présenter ces coûts et d'en retirer des conclusions pertinentes. D'une part, les différences de coûts entre les systèmes de chauffage seront analysées et d'autre part l'impact des différences typologiques sur la facture de consommation énergétique annuelle sera investigué. Notez que les coûts présentés dans la section 5.1 excluent les coûts d'entretien (détaillés à la section 5.2) et les taxes.

5.1. Comparaison des systèmes

5.1.1. Systèmes de chauffage TAÉ

Les coûts d'opérations selon les tarifs D et Flex D pour les systèmes TAÉ sont présentés au tableau 5-1. Ces coûts représentent les coûts annuels de consommation électrique pour différents systèmes électriques en chauffage pour chacune des typologies de bâtiment à l'étude.

Tableau 5-1 Coûts opérationnels de chauffage pour les systèmes TAÉ

Systèmes mécaniques étudiés	Typologie 1 - bâtiment existant		Typologie 2 - bâtiment au Code		Typologie 3 - bâtiment Novoclimat	
	Tarif D	Tarif Flex D	Tarif D	Tarif Flex D	Tarif D	Tarif Flex D
<i>Fournaise 100% efficace sans ATC</i>	2 138 \$	s.o.	1 929 \$	s.o.	1 416 \$	s.o.
<i>Fournaise 100% efficace avec ATC</i>	2 138 \$	1 912 \$	1 929 \$	1 728 \$	1 416 \$	1 288 \$
<i>Thermopompe normale sans ATC</i>	1 331 \$	s.o.	1 218 \$	s.o.	953 \$	s.o.
<i>Thermopompe normale avec ATC</i>	1 347 \$	1 241 \$	1 234 \$	1 146 \$	967 \$	914 \$
<i>Thermopompe climat froid sans ATC</i>	1 274 \$	s.o.	1 170 \$	s.o.	925 \$	s.o.
<i>Thermopompe climat froid avec ATC</i>	1 289 \$	1 196 \$	1 184 \$	1 107 \$	939 \$	892 \$

Tel qu'observé au tableau 5-1, la **thermopompe climat froid combinée avec des accumulateurs au tarif Flex D permet la plus grande économie** et ce, pour toutes les typologies de bâtiment. En comparaison avec la fournaisse électrique 100 % efficace sans accumulateur, on observe une diminution de près de 1 000 \$ de la facture énergétique annuelle du bâtiment existant. De plus, en comparant les scénarios sans ATC au tarif D par rapport à leur scénario équivalent avec ATC au tarif Flex D, on peut voir que pour tous les systèmes où le tarif Flex D s'applique, le montant de la facture diminue et ce encore une fois pour tous les types de bâtiment. Cela réitère l'importance de déplacer la consommation en dehors des périodes de pointe à l'aide d'accumulateurs thermiques ou en portant attention à sa consommation durant ces périodes lorsque le client est au tarif dynamique.

Dans les calculs, l'hypothèse a été posée que les occupants de la maison ne faisaient aucun effort particulier pour diminuer leur consommation énergétique *de base*² par rapport à leur horaire de

² La consommation énergétique de base représente ici toute la consommation électrique qui n'est pas du chauffage des espaces. On réfère donc surtout à l'eau chaude domestique, aux charges aux prises, à l'éclairage et aux appareils domestiques.

consommation habituel (défini dans le CNÉB). L'ensemble des économies présentées résulte donc uniquement de l'impact de l'accumulateur thermique. Avec un effort supplémentaire (p.ex. éviter les douches juste avant ou pendant les périodes de pointe), il est possible de faire des économies supplémentaires. Au tarif Flex D, les événements de pointe ont une durée maximale de 4 heures, il est donc très facile pour les occupants de déplacer une grande partie de leur charge. La relation entre les économies supplémentaires est proportionnelle au pourcentage de charge *de base* supplémentaire déplacée. À titre indicatif, pour 40 % de déplacement, il est possible d'économiser, 70 \$ de plus par année. Pour 80 % de déplacement, c'est un montant supplémentaire 140 \$ par année. Cette économie supplémentaire, contrairement à celle générée par l'accumulateur de chaleur, est indépendante de la typologie du bâtiment, car elle ne dépend que du comportement des occupants.

5.1.2. Systèmes de chauffage au gaz

Concernant les systèmes de chauffage au gaz naturel, plusieurs options de coût ont été analysées. En effet, Énergir propose à sa clientèle de choisir différents profils dictant le pourcentage de gaz naturel renouvelable dans son volume total de gaz consommé. Parmi ceux-ci, on retrouve le profil « *conscient* » avec 10 % de gaz naturel renouvelable, le profil « *actif* » avec 30 % de GNR et le profil « *adepte* » avec 100 % de GNR. Il est important de spécifier que **le gaz brûlé par l'utilisateur, peu importe le profil, contient les mêmes proportions de GNR que dans l'ensemble du réseau, soit 0,1 % en 2020, 2 % d'ici 2023, 5 % d'ici 2025 et 10 % d'ici 2030** (Whitmore & Pineau, 2022). Cependant, selon la documentation officielle (Énergir, 2022b), l'achat du GNR par un utilisateur permet de s'assurer que le volume acheté par le client est injecté dans le réseau. Les coûts en chauffage pour les systèmes au gaz sont présentés au tableau 5-2 selon ces proportions et selon le tarif présenté à la section 4.1.3 pour l'année 2022.

Tableau 5-2 Coût opérationnel en chauffage pour les systèmes au gaz selon les coûts de 2022

Cas type	Appareils	D1, GN	D1, Profil conscient (10 % GNR)	D1, Profil actif (30 % GNR)	D1, Profil Adepté (100 % GNR)
Cas type 1 - bâtiment existant	Anciens	2 451 \$	2 473 \$	2 518 \$	2 674 \$
	Nouveaux	2 169 \$	2 187 \$	2 223 \$	2 349 \$
Cas type 2 - bâtiment au Code	Anciens	2 247 \$	2 267 \$	2 306 \$	2 443 \$
	Nouveaux	2 001 \$	2 017 \$	2 048 \$	2 158 \$
Cas type 3 - bâtiment Novoclimat	Anciens	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
	Nouveaux	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.

En raison de leur meilleure efficacité, les nouveaux systèmes au gaz consomment un plus faible volume de gaz naturel pour fournir la même capacité (quantité de chaleur) ; cela résulte en une économie sur la facture énergétique. En comparant avec le tableau 5-1, il ressort que le **système au gaz le plus économique** (nouveaux appareils fonctionnant à 100 % avec du gaz naturel) **coûte malgré tout plus cher** à opérer **que le système tout à l'électricité le moins performant, soit la simple fourniture électrique** en se fiant aux coûts de 2022. En calculant les coûts opérationnels des systèmes au gaz (voir tableau 5-3) selon la tarification de 2021 (section 4.1.3), le système au gaz

avec de nouveaux appareils et fonctionnant à 100 % avec du gaz naturel (0 % GNR) devient plus économique que la fournaise 100 % électrique.

Tableau 5-3 Coût opérationnel en chauffage pour les systèmes au gaz selon les coûts de 2021

Cas type	Appareils	D1, GN	D1, Profil conscient (10 % GNR)	D1, Profil actif (30 % GNR)	D1, Profil Adepté (100 % GNR)
<i>Cas type 1 - bâtiment existant</i>	<i>Anciens</i>	1 969 \$	2 034 \$	2 163 \$	2 616 \$
	<i>Nouveaux</i>	1 780 \$	1 832 \$	1 936 \$	2 300 \$
<i>Cas type 2 - bâtiment au Code</i>	<i>Anciens</i>	1 824 \$	1 881 \$	1 994 \$	2 391 \$
	<i>Nouveaux</i>	1 658 \$	1 704 \$	1 795 \$	2 114 \$
<i>Cas type 3 - bâtiment Novoclimat</i>	<i>Anciens</i>	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
	<i>Nouveaux</i>	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.

Les deux derniers tableaux et la figure 4-1 illustrent la volatilité du coût du gaz dans le temps. Il est difficile d'affirmer hors de tout doute que les systèmes au gaz coûtent toujours plus cher qu'un système électrique fonctionnant avec une fournaise 100 % efficace. Une chose est toutefois certaine : un système électrique incluant une thermopompe coûte moins cher à opérer qu'un système au gaz, et ce d'autant plus en utilisant des accumulateurs thermiques, pour tous les types de bâtiment à l'étude.

5.1.3. Systèmes biénergie

Les coûts opérationnels pour les systèmes biénergie sont présentés dans le tableau 5-4. Ils sont établis en considérant les coûts du gaz en 2022 et pour de nouveaux appareils au gaz.

Tableau 5-4 Coût opérationnels biénergie selon les coûts du gaz 2022 et pour de nouveaux appareils

Cas type	Thermopompe	Biénergie, GN	Biénergie, Profil conscient (10 % GNR)	Biénergie, Profil actif (30 % GNR)	Biénergie, Profil Adepté (100 % GNR)
Cas type 1 - bâtiment existant	<i>Fournaise</i>	1 928 \$	1 931 \$	1 938 \$	1 950 \$
	<i>Thermopompe standard</i>	1 470 \$	1 474 \$	1 480 \$	1 492 \$
	<i>Thermopompe climat froid</i>	1 446 \$	1 449 \$	1 456 \$	1 468 \$
Cas type 2 - bâtiment au Code	<i>Fournaise</i>	1 791 \$	1 794 \$	1 800 \$	1 810 \$
	<i>Thermopompe standard</i>	1 390 \$	1 393 \$	1 399 \$	1 410 \$
	<i>Thermopompe climat froid</i>	1 371 \$	1 374 \$	1 380 \$	1 390 \$
Cas type 3 - bâtiment Novoclimat	<i>Fournaise</i>	1 451 \$	1 453 \$	1 457 \$	1 463 \$
	<i>Thermopompe standard</i>	1 186 \$	1 188 \$	1 192 \$	1 199 \$
	<i>Thermopompe climat froid</i>	1 176 \$	1 178 \$	1 182 \$	1 189 \$

Il apparaît à nouveau clairement que la facture énergétique augmente avec le pourcentage de gaz naturel renouvelable dans le volume consommé. De plus, on remarque que **la biénergie s'opère à plus faible coûts que les systèmes uniquement au gaz** dans tous les cas de figure. Le coût annuel est moindre pour les systèmes biénergie avec fournaise dans le cas d'un bâtiment existant ou au Code, mais si on considère les accumulateurs, alors le tarif Flex D est le plus avantageux peu importe la typologie ou le système. Le même exercice peut être fait avec les tarifs gaziers de 2021 et les mêmes conclusions sont tirées (voir tableau 5-5).

Tableau 5-5 Coût opérationnels biénergie selon les coûts du gaz 2021 et pour de nouveaux appareils

Cas type	Thermopompe	Biénergie, GN	Biénergie, Profil conscient (10 % GNR)	Biénergie, Profil actif (30 % GNR)	Biénergie, Profil Adepté (100 % GNR)
Cas type 1 - bâtiment existant	Fournaise	1 870 \$	1 878 \$	1 892 \$	1 934 \$
	Thermopompe standard	1 413 \$	1 420 \$	1 435 \$	1 477 \$
	Thermopompe climat froid	1 388 \$	1 396 \$	1 410 \$	1 452 \$
Cas type 2 - bâtiment au Code	Fournaise	1 739 \$	1 745 \$	1 758 \$	1 795 \$
	Thermopompe standard	1 338 \$	1 345 \$	1 358 \$	1 395 \$
	Thermopompe climat froid	1 319 \$	1 325 \$	1 338 \$	1 375 \$
Cas type 3 - bâtiment Novoclimat	Fournaise	1 414 \$	1 418 \$	1 426 \$	1 450 \$
	Thermopompe standard	1 150 \$	1 154 \$	1 162 \$	1 185 \$
	Thermopompe climat froid	1 139 \$	1 143 \$	1 151 \$	1 175 \$

Finalement, mise à part pour la fournaise au tarif D en comparaison avec la biénergie avec fournaise, les coûts d'opération pour tous les systèmes TAÉ sont les moins dispendieux. La différence est d'autant plus marquée si on compare une thermopompe climat froid combinée à un accumulateur thermique au tarif Flex D à des systèmes au gaz ou biénergie.

5.1.4. Synthèse des résultats clés

Le tableau 5-6 résume certains des coûts pertinents présentés plus haut.

Tableau 5-6 Tableau résumé des résultats

Système de chauffage	Tarif applicable (2022)	Cas type 1 - bâtiment existant	Cas type 2 - bâtiment au Code	Cas type 3 - bâtiment Novoclimat
<i>Fournaise 100 % efficace</i>	<i>Tarif D (sans ATC)</i>	2 138 \$	1 929 \$	1 416 \$
	<i>Tarif Flex D (avec ATC)</i>	1 912 \$	1 728 \$	1 288 \$
<i>Thermopompe normale</i>	<i>Tarif D (sans ATC)</i>	1 331 \$	1 234 \$	953 \$
	<i>Tarif Flex D (avec ATC)</i>	1 241 \$	1 146 \$	914 \$
<i>Thermopompe climat froid</i>	<i>Tarif D (sans ATC)</i>	1 274 \$	1 170 \$	967 \$
	<i>Tarif Flex D (avec ATC)</i>	1 196 \$	1 107 \$	892 \$
<i>Gaz naturel (GN) avec nouveaux appareils</i>	<i>Tarif gazier D</i>	2 169 \$	2 001 \$	s.o.
<i>Biénergie, GN avec nouveaux appareils</i>	<i>Fournaise (Tarifs D1 et DT)</i>	1 928 \$	1 791 \$	1 451 \$
	<i>Thermopompe standard (Tarifs D1 et DT)</i>	1 470 \$	1 390 \$	1 186 \$
	<i>Thermopompe climat froid (Tarifs D1 et DT)</i>	1 446 \$	1 371 \$	1 176 \$

Les systèmes avec thermopompe et ATC permettent les plus grandes économies pour toutes les typologies. La biénergie avec fournaise coûte moins cher à opérer qu'un système avec une fournaise électrique au Tarif D dans le cas d'un bâtiment existant (surcoût de 210 \$) ou au Code (surcoût de 138 \$). Cependant la tendance s'inverse lorsque le bâtiment possède une enveloppe performante : le système biénergie avec fournaise engendrent un surcoût de 35 \$ par rapport au tarif électrique de base (tarif D).

5.2. Coût d'entretien des systèmes et frais divers

Lorsqu'on parle de dépenses d'exploitation, il convient d'aborder les frais d'entretien du système. Puisque la méthode peut différer pour appliquer ces différents coûts, il a été décidé, par transparence, de présenter ces coûts à part au tableau 5-7.

Tableau 5-7 Coût d'entretien et durée de vie des systèmes en fonction du type de client

Description	TAÉ Fournaise électrique	TAÉ Thermopompe	Accumulateur de chaleur	Fournaise au gaz ou biénergie
<i>Entretien annuel (service de base, environ 1h d'inspection)</i>	250 \$	250 \$	- \$	250 \$
<i>Filtres à air</i>	100 \$	100 \$	- \$	100 \$
<i>Nettoyage général (5 ans)</i>	250 \$	250 \$	- \$	250 \$
<i>Nettoyage de l'échangeur (5 ans)</i>	- \$	- \$	- \$	250 \$
<i>Durée de vie moyenne des systèmes (années)</i>	30	15-20	30	15
Facture annuelle (prorata par an)				
<i>Client consciencieux</i>	400 \$	400 \$	- \$	450 \$
<i>Client typique</i>	150 \$	150 \$	- \$	450 \$

Ces coûts ont été déduits des informations fournies par l'entrepreneur Géoservices. Il faut savoir que les coûts d'entretien annuel sont inévitables pour les systèmes au gaz, mais optionnels pour les clients qui ont des systèmes tout à l'électricité. C'est pourquoi deux types de clientèle ont été définis : le client consciencieux effectuera tous les travaux pour un fonctionnement optimal de son système alors que le client typique effectuera uniquement les travaux nécessaires pour le bon fonctionnement de ce dernier.

Les accumulateurs de chaleur ont des éléments électriques chauffants similaires à ceux que l'on peut trouver dans un four électrique conventionnel. L'entretien est nul et le remplacement des éléments se fait normalement à la fin de la durée de vie utile de l'appareil. Les réparations des différents systèmes n'ont pas été évaluées, car ces coûts imprévisibles sont caractéristiques du mauvais fonctionnement d'un système.

Un frais caché des systèmes au gaz qui n'a ni été pris en compte, ni chiffré, est l'augmentation de la prime d'assurance habitation. En effet, plusieurs assureurs vont augmenter la prime lorsqu'il y a une entrée de gaz dans le bâtiment. Cependant, le fait d'exclure ce frais ne change pas les conclusions principales concernant les systèmes à thermopompe combinée à un accumulateur thermique.

5.3. Différences typologiques

Certains aspects importants de cette étude sont les différences typologiques observables entre les bâtiments. Le bâtiment existant est un bâtiment qui a été construit entre 1986 et 2012 et dont l'enveloppe présente de faibles propriétés isolantes comparativement aux autres bâtiments. Il a également une très mauvaise étanchéité et aucun système de récupération de chaleur pour l'apport d'air frais dans le bâtiment. Ces différents éléments amènent une piètre performance énergétique comparativement aux autres bâtiments. À la section 3.3, il était déjà possible de voir que le bâtiment type 1 consommait plus d'énergie que les autres en raison de ces différents paramètres. Cette consommation plus élevée se traduit par un coût plus élevé de la facture énergétique tel qu'il est démontré dans la section 5.1. La typologie qui performe le mieux du point de vue énergétique et économique est le bâtiment construit selon les standards Novoclimat 2.0. L'étude nous démontre qu'en encourageant la conception de bâtiments plus efficaces et avec des systèmes TAÉ efficaces qui intègrent de la gestion de pointe (thermopompe + ATC), on peut :

- Réduire la consommation énergétique et la pointe électrique ;
- Réduire la pression sur le réseau électrique ;
- Réduire le coût d'exploitation pour les clients.

Ultimement, cela permet également d'augmenter le confort des occupants. En effet, en construisant des bâtiments plus étanches, mieux isolés, avec des portes et fenêtres plus performantes et une ventilation efficace et adéquate, on améliore le confort des occupants. D'après nos informations, des projets pilotes d'Hydro-Québec tendent aussi à démontrer que le confort est inchangé, voire amélioré, avec une utilisation d'accumulateurs thermiques. De surcroît, l'utilisation d'accumulateurs permet de déplacer 100 % de l'appel de puissance en chauffage en période de pointe de manière écologique, puisque la source d'énergie est l'hydroélectricité.

5.4. Coût environnemental du gaz

Les factures annuelles découlant de l'utilisation des différents systèmes ont été évaluées. D'un point de vue purement financier, cela permet d'identifier la solution la plus économique pour le client. L'étude des coûts ne s'arrête toutefois pas là. Au-delà des coûts financiers, il y a les coûts environnementaux associés à chacun des systèmes. En effet, chaque système a un impact environnemental qui se traduit par l'émission de tonnes de CO₂ équivalent dans l'atmosphère. Bien entendu, la combustion de combustible fossile émet davantage de gaz à effet de serre que l'utilisation d'électricité dans un contexte québécois où la grande majorité de l'électricité provient d'une source renouvelable. Ses émissions ont donc un coût en tonnes de CO₂ équivalent qui peuvent être convertis en terme monétaire par leur compensation. Ces coûts environnementaux sont en théorie compensés par l'achat de droits d'émissions dont la facture est refilée au client. Effectivement, sur une facture classique, c'est la part SPEDE qui compense ces émissions, sans toutefois indiquer la quantité de CO₂ équivalent émise. Ces émissions de GES sont présentées au tableau 5-8.

Tableau 5-8 Émissions de gaz à effet de serre annuelles

Description des équipements	Bâtiment existant	Bâtiment au Code	Bâtiment Novoclimat
	Tonnes CO ₂ éq.	Tonnes CO ₂ éq.	Tonnes CO ₂ éq.
<i>Chauffage au gaz, nouveaux équipements</i>	2,851	2,593	s.o.
<i>Chauffage au gaz, anciens équipements</i>	3,544	3,224	s.o.
<i>Biénergie, nouveaux équipements</i>	0,387	0,351	0,294
<i>Biénergie, anciens équipements</i>	0,481	0,436	s.o.

Un autre coût environnemental de la biénergie est lié à la structure du tarif DT. En utilisant uniquement une base de température pour dynamiser les coûts électriques sans prendre en compte l'aspect saisonnier revient à encourager la dépense énergétique évitable à certains moments. Autrement dit, le tarif DT encourage la surconsommation énergétique l'été.

Pour être équitable avec l'ensemble de la clientèle diminuant son appel de puissance et pour avoir un impact plus significatif sur le réseau, il faudrait que les tarifs DT et Flex D soient limités de la même manière : soit limiter le tarif DT aux saisons de chauffage, comme l'est le tarif Flex D ; soit enlever la limitation saisonnière au tarif Flex D. Dans le premier cas, les coûts d'exploitation des systèmes à la biénergie seraient grandement pénalisés et dans le deuxième cas, les coûts d'exploitation des systèmes TAÉ seraient grandement avantagés. En considérant les aspects financiers, sociaux et environnementaux, il nous semble que le choix est évident alors que les coûts financiers, sociaux et écologiques sont moindres pour les systèmes TAÉ avec accumulateurs.

6. Constats face au Plan d’approvisionnement gazier

6.1. Constat par rapport au gaz

Dans le cadre du Plan d’approvisionnement gazier – Horizon 2023-2026 (B-0178) de la cause R-4177-2021 (Énergir, 2022b), le distributeur gazier présente une situation concurrentielle du gaz naturel par rapport à d’autres sources d’énergie comme le mazout ou l’électricité. Il présente de manière relative les coûts des sources d’énergies par rapport à celui du gaz selon trois typologies de bâtiment. On notera ici la ressemblance avec les typologies qui ont été utilisées dans le cadre de la présente étude soit, une nouvelle construction avec équipements récents et plus efficaces (~ bâtiment construit au Code avec vieux équipements), une construction existante avec équipements récents et plus efficaces (~ bâtiment construit au Code avec nouveaux équipements) et une construction existante avec des équipements âgés et moins efficaces (~ bâtiment existant).

Il a été considéré dans le Plan d’approvisionnement gazier que les équipements récents au gaz naturel ont une efficacité de 92 %, les anciens de 74 % et l’électricité, 97 %. Un système de chauffage électrique avec une telle efficacité correspondrait à un système de chauffage par plinthes électriques ou par fournaise électrique. Cependant, bien qu’une efficacité de 97 % soit utilisée dans le Plan d’approvisionnement gazier, la mesure de l’électricité consommée (au compteur) représente de manière effective 100 % d’efficacité, car les pertes théoriques relatives au système de chauffage électrique sont relâchées dans l’espace (entre le compteur et le poste de consommation) ce qui contribue au chauffage. L’efficacité d’un système électrique par plinthes ou fournaise est donc réellement de l’ordre de 100 %. Il est possible de parler de taux d’efficacité électrique inférieurs à 100 % lorsqu’on considère les pertes sur les réseaux de distribution, mais ce principe n’est pas applicable dans le contexte de l’étude.

Le tableau 6-1 présente un résumé des chiffres présentés dans le Plan d’approvisionnement gazier (voir tableau 11 du Plan Horizon 2023-2026 (B-0178) de la cause R-4177-2021) pour l’année 2022-2023 et des chiffres calculés par Écohabitation pour les typologies présentées dans le rapport pour le cas d’une fournaise 100 % électrique. Les coûts de fourniture de gaz naturel au tableau 11 du Plan correspondent à une prévision des coûts pour 2022-2023 basée sur les années passées et établie à partir des différents marchés de gaz (*Dawn, Empress*). Les résultats sont présentés de manière relative par rapport au gaz, le gaz ayant une valeur de 100. Une proportion inférieure à 100 % indique une situation défavorable au gaz et inversement si le pourcentage est supérieur à 100 %.

Tableau 6-1 Comparaison des coûts opérationnels entre le Plan d’approvisionnement gazier et les résultats d’Écohabitation

Source de comparaison entre la fournaise électrique et le gaz	Nouvelle construction, équipements récents	Construction existante, équipements récents	Construction existante, équipements âgés
<i>Tableau 11 (2022-2023) du R-4177-2021</i>	117 %	131 %	108 %
<i>Résultats 2021 de l’étude</i>	116 %	120 %	109 %
<i>Résultats 2022 de l’étude</i>	96 %	99 %	87 %

En observant ces résultats, il est possible de voir qu'en comparant les chiffres du tableau 11 et ceux calculés pour 2022 par Écohabitation, les conclusions ne sont pas les mêmes. **En effet, les systèmes de chauffage au gaz se retrouvent plutôt dans une situation défavorable par rapport à un système électrique 100 % efficace comparativement à ce que le Plan d'approvisionnement gazier présente.** En effet, tel qu'il a été d'ailleurs démontré plus tôt dans le rapport, l'augmentation des coûts du gaz naturel dans la dernière année le rend moins compétitif par rapport aux autres systèmes. En comparant avec des systèmes dont l'efficacité dépasse 100 %, comme dans le cas des thermopompes, il devient vraiment difficile de justifier l'utilisation d'un système au gaz du point de vue des coûts opérationnels. Les hypothèses posées influent sur la qualité des résultats. Toutefois, il est très difficile de retrouver ces hypothèses afin d'arriver aux données du Plan d'approvisionnement gazier. L'étude n'est pas reproductible car la démonstration des calculs de consommation n'est pas faite et aucune information relative aux bâtiments pour lesquels celles-ci ont été calculées n'est présentée. De plus, l'utilisation injustifiée d'une efficacité de 97 % des systèmes électriques a pour effet de désavantager l'électricité par rapport au gaz. Tel qu'il a été signalé plus tôt dans le rapport, l'efficacité réelle d'un système de chauffage électrique est de 100 % ce qui a un effet sur les résultats qui découlent du calcul.

En ce qui concerne les valeurs calculées avec les tarifs de 2021, le gaz se trouve bel et bien en situation favorable par rapport à l'électricité au tarif D et les valeurs trouvées dans l'étude d'Écohabitation s'approchent des valeurs présentées dans le Plan d'approvisionnement gazier. Cela met aussi en lumière le fait que les auteurs du Plan d'approvisionnement gazier ne semble pas avoir été en mesure de prévoir l'augmentation importante du coût du gaz, dans la mesure où, si les coûts avaient varié « selon les attentes », les conclusions tirées par le Plan d'approvisionnement gazier auraient été réalistes. Tout cela renforce les conclusions de notre rapport et démontre que nos hypothèses sont justifiées en ce qui concerne le gaz et l'électricité TAÉ

Avec l'avènement des nouveaux Codes énergétiques et du désir des clients de faire plus avec moins en rendant leur maison plus efficace, on retrouve généralement des systèmes mécaniques à haute efficacité dans les nouvelles constructions au Québec. L'utilisation de systèmes électriques dont l'efficacité dépasse 100 % revient beaucoup moins cher pour le client. En fait, comme l'illustre le tableau 6-2, les systèmes au gaz (GN) peuvent coûter jusqu'à 205 % de plus que la facture électrique d'une thermopompe climat froid combinée à l'accumulateur, soit plus du double !

Tableau 6-2 Coût relatif des scénarios tout au gaz par rapport au système tout à l'électricité avec thermopompe climat froid et accumulateur de chaleur

Année	Système	Cas type 1 – Bâtiment existant		Cas type 2 – Bâtiment au Code		Cas type 3 – Bâtiment Novoclimat	
		GN	GNR	GN	GNR	GN	GNR
2021	<i>Anciens équipements</i>	165 %	219 %	165 %	216 %	s.o.	s.o.
	<i>Nouveaux équipements</i>	149 %	192 %	150 %	191 %	s.o.	s.o.
2022	<i>Anciens équipements</i>	205 %	224 %	203 %	221 %	s.o.	s.o.
	<i>Nouveaux équipements</i>	181 %	196 %	181 %	195 %	s.o.	s.o.

6.2. Constat par rapport à la biénergie

En gardant la même présentation, il est intéressant d'évaluer la position concurrentielle des différents systèmes avec gestion de la pointe. Le tableau 6-3 présente les coûts relatifs des systèmes de chauffage électrique avec gestion de la pointe par rapport à la biénergie. Par principe d'équité, chaque ligne des tableaux est présentée sur une base différente, soit :

- Fournaise électrique et ATC par rapport à la biénergie avec fournaise (équipements au gaz récents ou âgés selon la colonne) ou vice versa ;
- Thermopompe standard et ATC par rapport à la biénergie avec thermopompe standard (équipements au gaz récents ou âgés selon la colonne) ou vice versa ;
- Thermopompe climat froid et ATC par rapport à la biénergie avec thermopompe climat froid (équipements au gaz récents ou âgés selon la colonne) ou vice versa.

Tableau 6-3 Coûts relatifs des scénarios de chauffage électrique avec gestion de pointe par rapport à la biénergie avec équipements équivalents

Année	Système comparé	Nouvelle construction, équipements récents	Construction existante, équipements récents	Construction existante, équipements âgés
2021	<i>Fournaise électrique et ATC</i>	99 %	102 %	101%
	<i>Thermopompe standard et ATC</i>	86 %	88 %	86 %
	<i>Thermopompe climat froid et ATC</i>	84 %	86 %	85 %
2022	<i>Fournaise électrique et ATC</i>	96 %	99 %	97 %
	<i>Thermopompe standard et ATC</i>	82 %	84 %	82 %
	<i>Thermopompe climat froid et ATC</i>	81 %	83 %	81 %

La biénergie était très légèrement avantageuse dans les constructions existantes pour les systèmes à fournaise électrique en 2021. En revanche, la position concurrentielle de la biénergie est faible dans tous les autres cas de figure, c'est pourquoi les autres valeurs sont inférieures à 100 %. Par exemple, le coût d'opération d'un système de chauffage électrique avec thermopompe standard et ATC représente 88 % du coût d'opération d'un système biénergie avec thermopompe standard.

Pour faciliter la compréhension, le tableau 6-4 (*page suivante*) présente l'inverse du tableau 6-3, soit les coûts relatifs des scénarios biénergie par rapport aux scénarios équivalents de chauffage électrique avec gestion de la pointe. Il est alors possible d'identifier clairement la position avantageuse de la solution de chauffage électrique avec accumulateur thermique comparativement à la biénergie, et ce, peu importe l'année tarifaire utilisée pour le gaz.

Tableau 6-4 Coûts relatifs des scénarios biénergie par rapport aux scénarios avec accumulateurs avec équipements équivalents

Année	Système comparé	Nouvelle construction, équipements récents	Construction existante, équipements récents	Construction existante, équipements âgés
2021	<i>Fournaise électrique et ATC</i>	101 %	98 %	99 %
	<i>Thermopompe standard et ATC</i>	117 %	114 %	116 %
	<i>Thermopompe climat froid et ATC</i>	119 %	116 %	118 %
2022	<i>Fournaise électrique et ATC</i>	104 %	101 %	103 %
	<i>Thermopompe standard et ATC</i>	121 %	118 %	121 %
	<i>Thermopompe climat froid et ATC</i>	124 %	121 %	124 %

Enfin, le surcoût relatif ³ pour tous les scénarios de biénergie par rapport au TAÉ avec gestion de pointe est représenté dans les tableaux suivants. Le tableau 6-5 présente les cas pour les équipements au gaz peu efficaces (vieux équipements). Il n'est pas possible d'avoir un équipement au gaz peu performant dans le cadre du programme Novoclimat. Le tableau 6-6 (*page suivante*) présente les cas pour les équipements au gaz efficaces (nouveaux équipements).

Tableau 6-5 Surcoût relatif des scénarios biénergie avec anciens équipements par rapport à leur correspondance tout à l'électricité avec gestion de pointe

Année	Système	Cas type 1 – Bâtiment existant		Cas type 2 – Bâtiment au Code		Cas type 3 – Bâtiment Novoclimat	
		GN	GNR	GN	GNR	GN	GNR
2021	<i>Fournaise électrique et ATC</i>	-1 %	3 %	2 %	6 %	s.o.	s.o.
	<i>Thermopompe standard et ATC</i>	16 %	22 %	19 %	25 %	s.o.	s.o.
	<i>Thermopompe climat froid et ATC</i>	18 %	25 %	21 %	27 %	s.o.	s.o.
2022	<i>Fournaise électrique et ATC</i>	3 %	4 %	5 %	7 %	s.o.	s.o.
	<i>Thermopompe standard et ATC</i>	21 %	23 %	24 %	26 %	s.o.	s.o.
	<i>Thermopompe climat froid et ATC</i>	24 %	26 %	27 %	29 %	s.o.	s.o.

En référence au tableau 6-5, il n'y a qu'un seul cas où la biénergie était plus économique (de seulement 1 %), par rapport au TAÉ. Ceci était vrai spécifiquement en 2021 dans le cas d'un système de chauffage avec une fournaise électrique et accumulateur pour un bâtiment existant. Il est improbable que cette situation se reproduise, du moins au cours des quelques années à venir étant donné la crise géopolitique actuelle.

³ Le surcoût relatif est le coût supplémentaire de la facture annuelle de biénergie par rapport à l'accumulateur considérant des systèmes électriques équivalents. Par exemple, la facture 2022 biénergie avec thermopompe standard et anciens appareils au gaz coûte 21 % plus cher que la facture 2022 thermopompe standard et accumulateur de chaleur pour le bâtiment existant.

Tableau 6-6 Surcoût relatif des scénarios biénergie avec nouveaux équipements au gaz par rapport à leur correspondance tout à l'électricité avec gestion de pointe

Année	Système	Cas type 1 – Bâtiment existant		Cas type 2 – Bâtiment au Code		Cas type 3 – Bâtiment Novoclimat	
		GN	GNR	GN	GNR	GN	GNR
2021	<i>Fournaise électrique et ATC</i>	-2 %	1 %	1 %	4 %	10 %	13 %
	<i>Thermopompe standard et ATC</i>	1 %	2 %	4 %	5 %	13 %	14 %
	<i>Thermopompe climat froid et ATC</i>	14 %	19 %	17 %	22 %	26 %	30 %
2022	<i>Fournaise électrique et ATC</i>	18 %	20 %	21 %	23 %	30 %	31 %
	<i>Thermopompe standard et ATC</i>	16 %	21 %	19 %	24 %	28 %	32 %
	<i>Thermopompe climat froid et ATC</i>	21 %	23 %	24 %	26 %	32 %	33 %

De ces deux tableaux ressortent que les factures énergétiques annuelles 2022 sont en moyenne 20-23 % plus cher pour la biénergie (respectivement nouveaux et anciens équipements) avec thermopompe standard que pour leur équivalent tout à l'électricité avec accumulateur thermique.

En prenant en compte le gaz naturel pour la biénergie : pour un bâtiment existant, c'est jusqu'à 24 % plus cher, pour un bâtiment au Code, jusqu'à 27 % plus cher et pour un bâtiment Novoclimat, jusqu'à 32 % plus cher.

En prenant en compte le gaz naturel renouvelable pour la biénergie : pour un bâtiment existant, c'est jusqu'à 26 % plus cher, pour un bâtiment au Code, jusqu'à 29 % plus cher et pour un bâtiment Novoclimat, jusqu'à 33 % plus cher.

7. Recommandations

À la suite de l'analyse des différents résultats, plusieurs recommandations peuvent être formulées.

7.1. Une vraie solution aux enjeux de pointes électrique du réseau

Hydro-Québec a mis au point avec le manufacturier Steffes un accumulateur thermique expressément adapté au marché résidentiel québécois. Le modèle Sérénité est compact et possède un contrôleur indépendant qui peut aussi recevoir des signaux externes pour la gestion de la pointe. Les accumulateurs sont conçus pour être aisément intégrés à un système avec thermopompe.

Dans son Laboratoire des technologies de l'énergie (LTE), Hydro-Québec étudie depuis longtemps les accumulateurs thermiques et, même si cette technologie semble nouvelle, le principe derrière les accumulateurs thermiques est connu depuis longtemps (les thermes romains sont un exemple parmi d'autres). Cette technologie, conçue pour faire face aux enjeux québécois, a été prouvée et démontrée par des études de la société d'État. Les résultats des études pilotes sont concluants : il est possible, grâce aux accumulateurs thermiques, de déplacer suffisamment la pointe électrique de façon 100 % renouvelable pour éliminer l'utilisation du gaz dans le secteur résidentiel. Cependant, il reste encore quelques défis mineurs : s'assurer d'une installation rigoureuse et d'une méthode de contrôle efficace des accumulateurs. Il serait intéressant de développer une manufacture locale pour des produits similaires.

7.2. L'enjeu de la pointe électrique du réseau et la fausse solution de la biénergie

Concrètement, la solution simpliste de convertir tous les systèmes de chauffage ayant des sources d'énergie fossiles vers des systèmes électriques conventionnels (plinthes électriques et climatiseurs) serait problématique pour le réseau électrique Québécois. La pointe électrique représente des coûts importants pour la société d'État, tant sur le plan financier qu'environnemental. Chaque kilowatt évité représente des économies variant entre 120 et 200 \$ (Communications personnelles, Alain Moreau, LTE, 2022). C'est l'une des raisons pour laquelle la biénergie a été proposée : le système électrique comble la majorité des besoins énergétiques du bâtiment et un système d'appoint au gaz prend la charge lors des périodes de pointe. Cependant, le tarif DT (biénergie) encourage l'utilisation du système au gaz naturel alors qu'environ 50 % de ce temps, il n'y a pas de pointe sur le réseau électrique (Communications personnelles, Jean-Pierre Finet, ROÉÉ, 2022). Autrement dit, le tarif DT augmente l'impact écologique de la production de chaleur pendant les périodes où le réseau peut subvenir aux besoins sans problèmes. Le tarif Flex D (pour les systèmes électriques) est beaucoup plus efficace pour réduire la pointe. Une autre méthode efficace pour alléger la charge du réseau (diminution de la base de consommation et de l'appel de puissance) est l'amélioration de l'enveloppe et des systèmes mécaniques. Cela a été démontré avec les données énergétiques présentées au tableau 3-4.

7.3. Remplacer son vieux système au gaz par un neuf, bonne ou mauvaise idée ?

En 2020 au Québec, le gaz naturel était d'origine fossile à 99,9 %. Par législation provinciale, il le sera à 95 % (5 % sera qualifié de renouvelable) et, si le gouvernement du Québec continue dans la lignée prévue, à 90 % en 2030 (10 % renouvelable) (Whitmore & Pineau, 2022). La ressource renouvelable ne dépend que du développement de la filière des déchets organiques qui avance à pas de tortue : malgré les budgets prévus (1,3 G\$) seul 19 % a été dépensé sur une période de 10 ans (2009-2019) (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques - MELCC, 2020).

Parallèlement, le Plan pour une économie verte du Québec (PEV) prévoit une diminution de 50 % des émissions liées au chauffage des bâtiments en 2030 (Gouvernement du Québec, 2020). Les cibles d'Environnement et Changement climatique Canada pointent dans la même direction (Environnement et Changement climatique Canada, 2022) :

- Une réduction des GES de 40 à 45 % par rapport aux niveaux de 2005 d'ici 2030 ;
- La carboneutralité d'ici 2050 en passant par l'électrification d'un plus grand nombre de secteurs.

Dans une optique de carboneutralité et de respect des cibles gouvernementales à tous les niveaux, il est donc impensable d'installer des nouveaux systèmes au gaz actuellement voir de les réinstaller dans le secteur résidentiel, même si ceux-ci sont plus performants que les anciens.

7.4. Réforme de la structure tarifaire

Tel que mentionné à la section 5.4, le tarif DT donne un avantage considérable à la biénergie. Il n'est possible que de spéculer sur la raison pour laquelle la contrainte saisonnière appliquée au tarif Flex D n'a pas été prise en compte pour le tarif DT alors que les deux tarifs servent le même objectif, soit réduire l'appel de puissance du client visé.

Considérant ce qui a déjà été mentionné, notamment les impacts environnementaux associés à la consommation de gaz naturel et les impacts financiers pour le client, **il semble nécessaire et urgent de se pencher sur une refonte tarifaire du tarif DT pour le rendre équitable pour l'ensemble de la clientèle résidentielle participant à l'effort commun de réduction de la pointe électrique.** D'autre part, il serait judicieux d'évaluer la possibilité d'étendre le crédit hivernal (dont nous n'avons pas traité dans l'étude) au tarif de base D, puisqu'aucun impact financier négatif ne peut être encouru par l'utilisateur et qu'il encourage la réduction de la consommation énergétique.

7.5. Varia

L'utilisation d'accumulateurs thermiques au profit de la biénergie dans le cas de conversion de systèmes au gaz permettrait aussi d'augmenter les ventes d'électricité (*donc les revenus*) d'Hydro-Québec sans impacter la pointe.

Les compensations de plusieurs milliards versés au distributeur de gaz seraient mieux investies dans un programme de conversion des systèmes au gaz vers des systèmes tout à l'électricité avec thermopompes et accumulateurs thermiques (faut-il rappeler que ces systèmes d'accumulateurs font l'objet de recherche depuis près de 30 ans au LTE).

8. Conclusion

En conclusion, la présente étude a permis d'établir les coûts opérationnels pour différents systèmes de chauffage pour différentes typologies représentatives du parc immobilier québécois.

Les différentes solutions sur lesquelles l'étude est centrée sont les solutions permettant une gestion de la pointe électrique. Les constats principaux sont les suivants :

1. Une amélioration de l'enveloppe, des systèmes mécaniques (Ventilateur à récupération de chaleur) et de l'étanchéité peut réduire l'appel de puissance dû au chauffage jusqu'à 29 % ;
2. Les accumulateurs thermiques permettent de déplacer l'entièreté de la charge de chauffage aux périodes de pointe vers des périodes où le réseau électrique peut répondre à la demande ;
3. La position concurrentielle des accumulateurs thermiques, combinés à une thermopompe a été démontrée autant pour l'année 2021 que pour l'année 2022 où les coûts du gaz naturel ont grandement augmentés ;
4. Les systèmes biénergie peuvent coûter jusqu'à 32 % plus cher que les systèmes de chauffage électriques avec gestion de pointe ;
5. Les systèmes au gaz peuvent coûter jusqu'à 105 % plus cher que les systèmes de chauffage électriques avec gestion de pointe ;
6. Il en coûte pour un client typique à la biénergie entre 20 et 23 % plus cher que le système de chauffage électrique avec la thermopompe standard et accumulateur thermique ;
7. Le structure tarifaire DT devrait être revue pour l'appliquer uniquement pendant la saison de chauffage afin de ne pas encourager le gaspillage énergétique pendant la saison chaude ;
8. Le Plan d'approvisionnement gazier se concentre à comparer le gaz avec des solutions non désirables (mazout et chauffage électrique sans gestion de pointe) et néglige les solutions optimales et moins chères ;
9. Encourager la conversion des systèmes au gaz vers des solutions de chauffage électrique avec gestion de la pointe, c'est à la fois réduire les coûts pour les utilisateurs et augmenter les revenus de l'État.

9. Références

- Boyer, D. (2016). *Le potentiel technico-économique de réduction des émissions de GES du secteur résidentiel au Québec*. Écohabitation. Repéré à 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
- CNRC. (2018). *Code national de l'énergie pour les bâtiments - Canada 2017 (révision 2018)* (Rapport No. NR24- 24/2017F). Repéré à <https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/td/?id=25682fbd-0aa6-4e4d-8f0d-1e8d3c0eb43c&dp=2&dsl=fr>
- Écohabitation. (2022). *Nouvelles constructions résidentielles : Quel sort pour le gaz naturel ?* (Rapport No. C20220322AV).
- Énergir. (2022a). Comprendre ma facture | Résidentiel. Repéré à <https://www.energir.com/fr/residentiel/espace-client/facturation-et-tarifcation/comprendre-ma-facture/>
- Énergir. (2022b). *Plan d'approvisionnement gazier, prévision des livraisons, horizon 2023-2026* (Rapport No. B-0178, R-4177-2021). Repéré à http://publicsde.regie-energie.qc.ca/projets/606/DocPrj/R-4177-2021-B-0178-DemAmend-PieceRev-2022_07_06.pdf
- Énergir. (2022c). Prix de fourniture du gaz naturel. Repéré à <https://www.energir.com/fr/affaires/prix-de-fourniture-du-gaz-naturel/>
- Gouvernement du Québec. *Décret 858-2012, Loi sur le bâtiment (L.R.Q., c.B-1.1)* (2012). Repéré à <http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=1&file=58152.PDF>
- Gouvernement du Québec. (2021). Exigences techniques - Maison et Petit bâtiment multilogement. Repéré à https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/novoclimat-maison-PBM/F_Exigences_techniques_Novoclimat-M-PBM_27_decembre_2021.pdf
- Hydro-Québec. (2022). Tarif D. Repéré à <https://www.hydroquebec.com/residentiel/espace-clients/tarifs/tarif-d.html>
- Hydro-Québec. (2022a). Tarif DT. Repéré à <https://www.hydroquebec.com/residentiel/espace-clients/tarifs/tarif-dt.html>
- Hydro-Québec. (2022b). Tarif Flex D. Repéré à <https://www.hydroquebec.com/residentiel/espace-clients/tarifs/tarif-flex-d.html>
- Régie de l'énergie. (2021a). D-2021-124 Dossier R-4008-2017. Repéré à http://publicsde.regie-energie.qc.ca/projets/411/DocPrj/R-4008-2017-A-0291-Dec-Dec-2021_09_27.pdf
- Régie de l'énergie. (2021b). D-2021-166 Dossier R-4008-2017. Repéré à http://publicsde.regie-energie.qc.ca/projets/411/DocPrj/R-4008-2017-A-0301-Dec-Dec-2021_12_20.pdf

ANNEXES

Annexe A. Signaux émis des événements de pointe d'Hydro-Québec

La liste détaillée des signaux émis pour événements de pointe est donnée au tableau 9-1. Les données nous concernant sont mise en évidence.

Tableau 9-1 Liste des signaux de pointe émis

Date	Événement AM	Événement PM			
2018-12-07	-	✓	2021-01-20	✓	✓
2019-01-02	-	✓	2021-01-21	✓	✓
2019-01-11	-	✓	2021-01-25	✓	✓
2019-01-14	✓	✓	2021-01-26	✓	✓
2019-01-17	✓	✓	2021-02-01	✓	-
2019-01-18	✓	✓	2021-02-09	✓	-
2019-01-21	✓	✓	2021-02-10	✓	-
2019-01-22	✓	✓	2021-02-11	✓	-
2019-01-23	-	✓	2021-02-12	✓	✓
2019-01-28	✓	✓	2021-02-17	✓	-
2019-01-29	✓	✓	2021-02-18	✓	-
2019-01-30	-	✓	2021-03-02	✓	-
2019-01-31	✓	✓	2021-03-04	✓	✓
2019-02-01	✓	✓	2021-03-05	✓	-
2019-02-12	-	✓	2021-03-08	✓	-
2019-02-20	✓	-	2021-12-23	✓	-
2019-12-12	✓	-	2022-01-03	✓	✓
2019-12-19	✓	✓	2022-01-04	✓	-
2020-01-09	✓	-	2022-01-10	-	✓
2020-01-17	✓	✓	2022-01-11	✓	✓
2020-01-20	✓	✓	2022-01-12	✓	✓
2020-01-21	✓	✓	2022-01-14	-	✓
2020-01-29	✓	✓	2022-01-17	✓	-
2020-01-30	✓	✓	2022-01-19	✓	-
2020-01-31	✓	-	2022-01-21	✓	✓
2020-02-06	✓	-	2022-01-24	✓	-
2020-02-10	✓	-	2022-01-26	✓	-
2020-02-14	✓	✓	2022-01-27	✓	-
2020-02-18	✓	-	2022-02-01	✓	-
2020-02-19	-	✓	2022-02-14	✓	-
2020-02-20	✓	✓	2022-02-15	✓	-
2020-02-21	✓	-	2022-02-16	✓	-
2020-12-16	✓	✓	2022-02-25	✓	-
2020-12-17	✓	✓	2022-02-28	✓	-
2020-12-18	✓	-	2022-03-01	✓	-
2021-01-19	-	✓	2022-03-04	✓	-

Annexe B. Extraits du classeur pour exemple de calculs

Tableau 9-2 Nombre de jours par période de consommation pour le tarif électrique

Période de consommation	Nombre de jours de la période
1	61
2	60
3	62
4	60
5	61
6	61

Tableau 9-3 Calcul de la facture énergétique annuelle pour la fourniture électrique dans le bâtiment existant au tarif électrique D

Période de consommation	Première tranche (kWh)	Deuxième tranche (kWh)	Prix première tranche	Prix deuxième tranche	Frais d'accès au réseau	Somme de la facture du mois
1	2440,00	5536,66	154,18 \$	539,77 \$	25,77 \$	719,72 \$
2	2400,00	1737,83	151,66 \$	169,42 \$	25,34 \$	346,42 \$
3	1997,75	0,00	126,24 \$	- \$	26,19 \$	152,43 \$
4	1688,80	0,00	106,72 \$	- \$	25,34 \$	132,06 \$
5	2440,00	272,85	154,18 \$	26,60 \$	25,77 \$	206,55 \$
6	2440,00	4114,19	154,18 \$	401,09 \$	25,77 \$	581,04 \$

Tableau 9-4 Calcul de la facture énergétique annuelle 2021 pour une ancienne fournaise au gaz dans le bâtiment existant au tarif gazier D1

Mois	Volume consommé (m ³)	Transport	Équilibrage	Ajustements reliés aux inventaires	Distribution	Système de plafonnement et d'échange de droits d'émission (SPEDE)	Frais de base	Molécule 100%GN	Facture mensuelle 100%GN
1	418,81	11,49 \$	16,46 \$	(2,97) \$	113,58 \$	18,65 \$	16,79 \$	56,21 \$	230,22 \$
2	359,27	9,85 \$	14,12 \$	(2,55) \$	97,43 \$	16,00 \$	15,17 \$	48,22 \$	198,25 \$
3	229,09	6,28 \$	9,01 \$	(1,62) \$	62,13 \$	10,20 \$	16,79 \$	30,75 \$	133,54 \$
4	102,88	2,82 \$	4,04 \$	(0,73) \$	27,90 \$	4,58 \$	16,25 \$	13,81 \$	68,68 \$
5	40,57	1,11 \$	1,59 \$	(0,29) \$	11,00 \$	1,81 \$	16,79 \$	5,44 \$	37,47 \$
6	0,00	- \$	- \$	- \$	- \$	- \$	16,25 \$	- \$	16,25 \$
7	0,00	- \$	- \$	- \$	- \$	- \$	16,79 \$	- \$	16,79 \$
8	0,00	- \$	- \$	- \$	- \$	- \$	16,79 \$	- \$	16,79 \$
9	21,59	0,59 \$	0,85 \$	(0,15) \$	5,86 \$	0,96 \$	16,25 \$	2,90 \$	27,25 \$
10	106,28	2,91 \$	4,18 \$	(0,75) \$	28,82 \$	4,73 \$	16,79 \$	14,27 \$	70,95 \$
11	237,92	6,52 \$	9,35 \$	(1,69) \$	64,52 \$	10,59 \$	16,25 \$	31,93 \$	137,49 \$
12	383,16	10,51 \$	15,06 \$	(2,72) \$	103,91 \$	17,06 \$	16,79 \$	51,43 \$	212,05 \$

Tableau 9-5 Calcul de la portion électrique de la facture énergétique annuelle pour une fournaise électrique dans le bâtiment existant au tarif DT

Période de consommation	Consommation au-dessus de -12°C	Consommation sous les -12°C	Prix première tranche (>=-12°C)	Prix deuxième tranche (<-12°C)	Frais d'accès au réseau	Puissance à facturer au-delà du seuil	Somme de la facture du mois
1	6145,94	301,13	279,15 \$	79,97 \$	25,77 \$	0	384,88 \$
2	4030,75	16,37	254,70 \$	1,60 \$	25,34 \$	0	281,64 \$
3	1997,75	0,00	126,24 \$	- \$	26,19 \$	0	152,43 \$
4	1688,80	0,00	106,72 \$	- \$	25,34 \$	0	132,06 \$
5	2712,85	0,00	171,43 \$	- \$	25,77 \$	0	197,19 \$
6	6314,06	40,10	398,99 \$	3,91 \$	25,77 \$	0	428,66 \$

Tableau 9-6 Calcul de la facture annuelle de la fourniture électrique pour le bâtiment existant au tarif Flex D

Période de consommation	Saison	Nombre de jours de la période applicable à la saison	Première tranche + déplacement de charge ATC (kWh)	Deuxième tranche + déplacement de charge ATC (kWh)	Consommation pendant la pointe (kWh)	Prix première tranche hors pointe	Prix deuxième tranche hors pointe	Prix en pointe	Frais d'accès au réseau	Somme de la facture du mois
1	HIVER_1	61	2440,00	5415,44	121,22	103,16 \$	414,28 \$	62,99 \$	25,77 \$	606,20 \$
1	ÉTÉ	0	0,00	0,00	0,00	- \$	- \$	- \$	- \$	- \$
1	HIVER_2	0	0,00	0,00	0,00	- \$	- \$	- \$	- \$	- \$
2	HIVER_1	29	1160,00	1214,49	26,25	50,44 \$	92,91 \$	13,64 \$	12,25 \$	169,24 \$
2	ÉTÉ	31	1240,00	497,09	0,00	78,36 \$	48,46 \$	- \$	13,09 \$	139,91 \$
2	HIVER_2	0	0,00	0,00	0,00	- \$	- \$	- \$	- \$	- \$
3	HIVER_1	0	0,00	0,00	0,00	- \$	- \$	- \$	- \$	- \$
3	ÉTÉ	62	1997,75	0,00	0,00	126,24 \$	- \$	- \$	26,19 \$	152,43 \$
3	HIVER_2	0	0,00	0,00	0,00	- \$	- \$	- \$	- \$	- \$
4	HIVER_1	0	0,00	0,00	0,00	- \$	- \$	- \$	- \$	- \$
4	ÉTÉ	60	1688,80	0,00	0,00	106,72 \$	- \$	- \$	25,34 \$	132,06 \$
4	HIVER_2	0	0,00	0,00	0,00	- \$	- \$	- \$	- \$	- \$
5	HIVER_1	0	0,00	0,00	0,00	- \$	- \$	- \$	- \$	- \$
5	ÉTÉ	61	2440,00	272,85	0,00	154,18 \$	26,60 \$	- \$	25,77 \$	206,55 \$
5	HIVER_2	0	0,00	0,00	0,00	- \$	- \$	- \$	- \$	- \$
6	HIVER_1	0	0,00	0,00	0,00	- \$	- \$	- \$	- \$	- \$
6	ÉTÉ	30	1200,00	1497,39	0,00	75,83 \$	145,98 \$	- \$	12,67 \$	234,48 \$
6	HIVER_2	31	1240,00	2610,75	6,05	54,90 \$	199,72 \$	3,14 \$	13,09 \$	270,86 \$