

Mémoire soumis au Ministère de l'Économie, de l'Innovation et de l'Énergie dans le cadre de la consultation sur l'encadrement et le développement des énergies propres au Québec

Par : Louis Alexandre, B. Ing., M. ATDR, le 31 juillet 2023

Premièrement merci de nous permettre de vous soumettre des idées.

Ayant obtenu en 1985 un baccalauréat en génie physique à l'Université Laval (spécialisation en énergie thermique), j'ai eu une vaste carrière dans les énergies renouvelables en tant qu'ingénieur de production en énergie solaire (1987-1988) et ingénieur de projet chez Hydro-Québec en réfection de centrales hydroélectriques (1988-2007 et 2010-2018). J'ai aussi été confronté à la réalité complexe des réseaux autonomes du grand Nord puisque j'ai eu quelques projets pour les centrales thermiques du Nunavik et de la basse-Côte-Nord (2010-2018).

De 2007 à 2010, conscient de l'enjeu des gaz à effet de serre (GES), j'ai fait une maîtrise en aménagement du territoire et développement régional à l'Université Laval, dans le domaine du transport urbain des personnes.

L'impact des dérèglements climatiques actuels et anticipés touche tous les domaines de notre société et se traduit par la nécessité de changements rapides et profonds. Dans le domaine de l'énergie, il s'agit d'effectuer une baisse rapide de nos émissions de GES combinée avec une efficacité énergétique exemplaire et de sécuriser les approvisionnements énergétiques face aux catastrophes récurrentes.

C'est ce qu'on appelle la transition énergétique : passer des énergies fossiles (charbon, produits pétroliers, gaz naturel) vers les énergies propres et renouvelables : l'hydroélectricité, les énergies intermittentes telles que les éoliennes et panneaux solaires mais aussi la biomasse, la récupération de chaleur et la géothermie.

Cette transition énergétique induira une hausse importante de la demande électrique et occasionnera une pression sur le réseau lors des pointes hivernales et pour intégrer les nouvelles sources d'énergies, en particuliers les sources intermittentes qui nécessiteront du stockage.

Ce mémoire s'intéresse principalement à l'axe 1 de consultation : les sources potentielles d'énergie, la gestion de la pointe électrique ainsi qu'à la production décentralisée et des microréseaux, **mais la production et les microréseaux d'énergie thermique**. Si l'électricité produite de façon renouvelable est l'avenue royale pour le Québec, **un angle mort important est tout ce que pourrait apporter les réseaux de chaleur en complément au réseau électrique en terme d'approvisionnement énergétique mais aussi de stockage d'énergie**. Les réseaux de chaleur sont d'ailleurs une part substantielle des stratégies de transition énergétique de nombreux pays européens.

Plus que n'importe quel pays européen, le Québec a un défi particulier pour répondre aux besoins de chauffage avec ses hivers très froids, plus froids même que les pays scandinaves. Le potentiel d'économie de chauffage est énorme. Dans une moindre mesure, le Québec a aussi des besoins en climatisation lors des canicules estivales.

Dans la première partie de ce mémoire, je démontre que lorsqu'on regarde en détail l'étude de la firme expert annexée à la dernière révision du potentiel technico-économique d'Hydro-Québec :

Le potentiel technico-économique à l'horizon de 5 ans identifie des économies combinées de 8 TWh annuellement, à un coût moyen de 4,5 ¢/kWh, et de 920 MW aux pointes hivernales pour les items reliés à l'isolation thermique, au chauffage et à l'eau chaude seulement.

Rappelons¹ que le Complexe la Romaine a coûté 7,2 milliards de dollars pour 8 TWh et 1 550 MW à un coût moyen de 6,4 ¢/kWh.

Ce potentiel est plus élevé encore si l'on considère des investissements supérieurs. Ainsi, à 8 ¢/kWh le potentiel s'élève à 17 TWh, soit 9 % des ventes d'électricité au Québec en 2022 (180,6 TWh).

Investir dans l'efficacité énergétique, c'est donc de dégager une marge de manœuvre pour accueillir d'autres demandes sur le réseau d'Hydro-Québec mais aussi de permettre un report d'investissements importants en nouvelles centrales hydroélectriques.

Dans la seconde partie du mémoire, je met l'emphase sur les bénéfices collatéraux que permettent une meilleure isolation thermique, en plus de la réduction des besoins en chauffage et en climatisation, soit :

- Amplifier l'impact de la tarification dynamique en permettant de couper le chauffage quelques heures durant les pointes hivernales afin d'alléger la demande en puissance de pointe;
- Assurer une meilleure résilience face aux changements climatiques en cas de panne électrique.

Enfin, dans la troisième partie, j'émettrai quelques réflexions concernant les sources d'énergie pour le chauffage et sur le stockage d'énergie.

Plusieurs sources d'énergie carboneutres permettent de chauffer. De plus, soulignons que dans un contexte de rareté énergétique, l'utilisation de plinthes électriques s'avère être un gaspillage de ressources : l'électricité pourrait être utilisée de façon beaucoup plus efficace grâce aux pompes à chaleur, à la récupération de chaleur et les systèmes géothermiques.

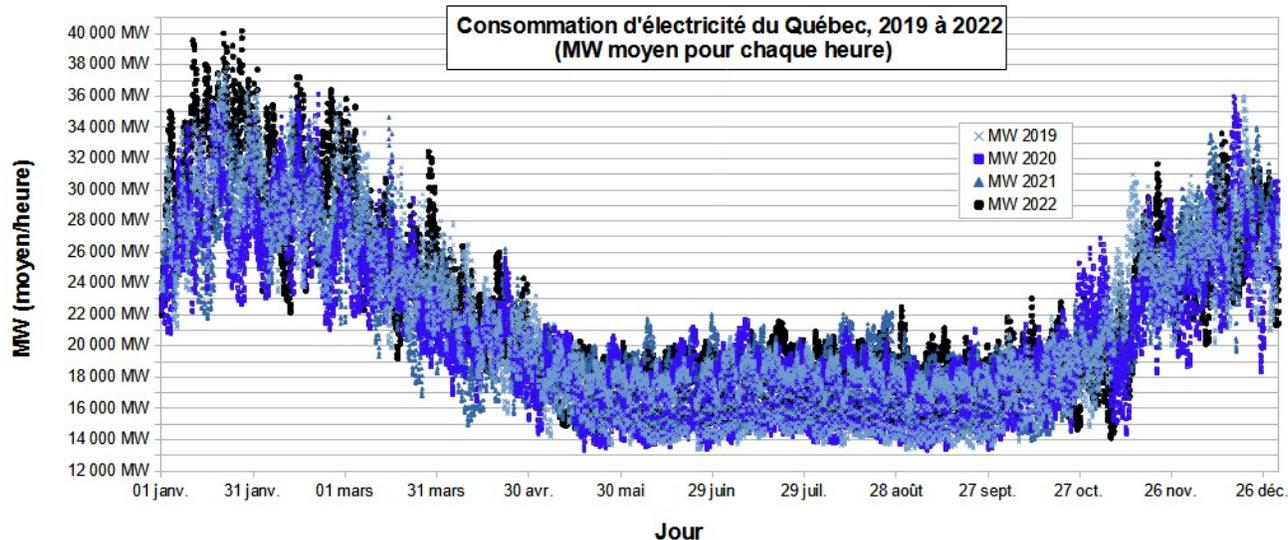
Concernant le stockage d'énergie, on pense souvent en terme de « stockage de l'électricité ». On oublie que l'on peut aussi stocker l'énergie sous forme de chaleur, avenue très intéressante à explorer.

¹ Sources : Article de Radio-Canada « [Le complexe Romaine-4 est en service et « rentable » dit Hydro](#) » du 27 octobre 2022 par Zoé Bellehumeur et [Hydro-Québec, Complexe de la Romaine](#)

1) Potentiel en économie de chauffage sur le réseau d'Hydro-Québec

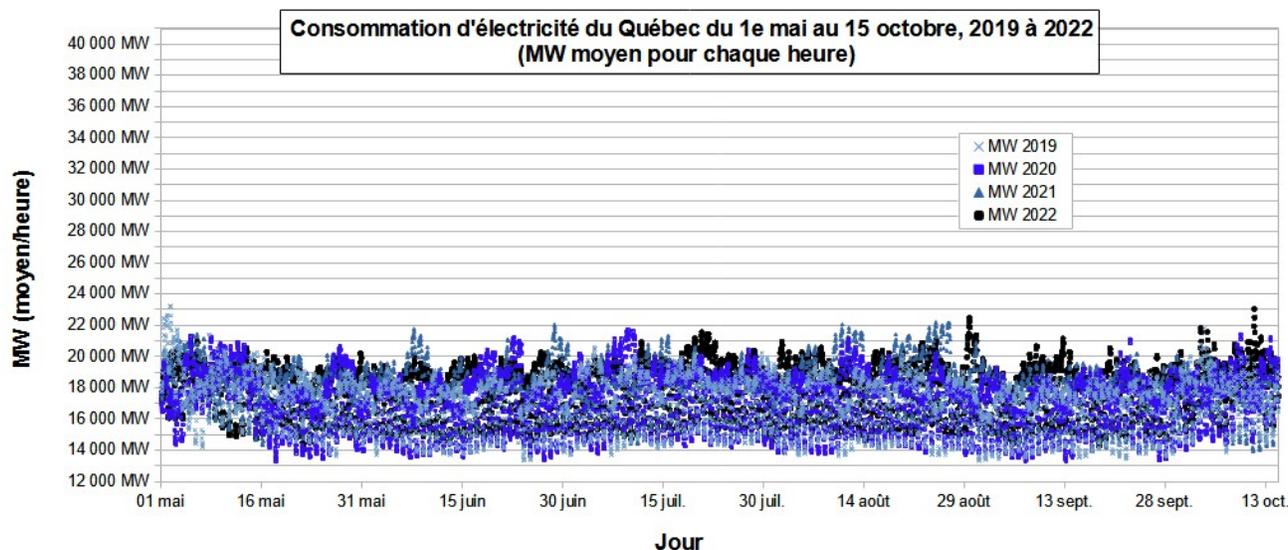
1.1) Consommation actuelle d'électricité au Québec

Lorsqu'on regarde la consommation électrique au Québec, on voit que la consommation électrique est beaucoup plus élevée l'hiver que pour le reste de l'année.



Source des données du graphique : [Historique de la demande d'électricité au Québec pour les années 2019 à 2022, données ouvertes d'Hydro-Québec.](#)

Un « zoom » du 1^{er} mai au 15 octobre, pour les années 2019 à 2022, est très parlant :



Source des données : [Idem \(Hydro-Québec, données ouvertes\)](#)

Comme on peut le voir dans le graphique précédent et le tableau suivant, **sans chauffage, le Québec n’aurait besoin actuellement qu’environ 20 000 MW (95 percentile) pour répondre à ses besoins, avec quelques pointes à 23 000 MW.** Hydro-Québec avec sa puissance installée de 37 400 MW² serait alors amplement en mesure d’y répondre, ainsi qu’à de nouvelles demandes en puissance et énergie.

Analyse des données de puissances horaires moyennes pour les années 2019 à 2022

| | Minimum | Médiane | Moyenne | 95 percentile | 99 percentile | Maximum |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|------------------|---------------|------------------|
| Janvier | 20 746 MW | 29 491 MW | 29 524 MW | 35 753 MW | 37 819 MW | 40 179 MW |
| Février | 21 041 MW | 28 653 MW | 28 799 MW | 33 857 MW | 35 454 MW | 37 685 MW |
| Mars | 16 746 MW | 24 783 MW | 25 038 MW | 30 652 MW | 33 053 MW | 35 817 MW |
| Avril | 14 904 MW | 20 598 MW | 20 709 MW | 24 673 MW | 26 001 MW | 27 986 MW |
| Mai | 13 295 MW | 17 915 MW | 17 711 MW | 20 204 MW | 21 143 MW | 23 231 MW |
| Juin | 13 327 MW | 17 557 MW | 17 184 MW | 19 868 MW | 21 009 MW | 22 038 MW |
| Juillet | 13 678 MW | 17 954 MW | 17 534 MW | 20 128 MW | 21 116 MW | 21 706 MW |
| Août | 13 318 MW | 17 737 MW | 17 491 MW | 20 651 MW | 21 599 MW | 22 481 MW |
| Septembre | 13 294 MW | 17 307 MW | 16 919 MW | 19 308 MW | 20 049 MW | 21 135 MW |
| Mi-Octobre | 13 878 MW | 17 900 MW | 17 623 MW | 20 089 MW | 20 994 MW | 23 034 MW |
| 1e Mai-15 Octobre | 13 294 MW | 17 695 MW | 17 395 MW | 20 101 MW | 21 185 MW | 23 231 MW |
| Octobre | 13 878 MW | 18 365 MW | 18 282 MW | 21 504 MW | 23 765 MW | 26 237 MW |
| Novembre | 14 100 MW | 22 911 MW | 22 742 MW | 27 903 MW | 29 410 MW | 31 640 MW |
| Décembre | 18 312 MW | 26 646 MW | 26 650 MW | 31 597 MW | 33 981 MW | 35 999 MW |
| Janvier-Décembre | 13 294 MW | 19 756 MW | 21 517 MW | 31 429 MW | 34 816 MW | 40 179 MW |

Évidemment, on ne peut annuler les besoins de chauffage. Cependant, le potentiel de réduction qu’on peut techniquement et économiquement réaliser est très substantiel. C’est le sujet de la présente section.

Les sources efficaces de chauffage électrique ainsi que des sources alternatives seront explorées dans la section 3.

² Électricité patrimoniale d’Hydro-Québec Production de 37 442 MW de puissance et 178,9 TWh en énergie dédiée pour la clientèle québécoise

1.2) Demande en chauffage sur le réseau d'Hydro-Québec

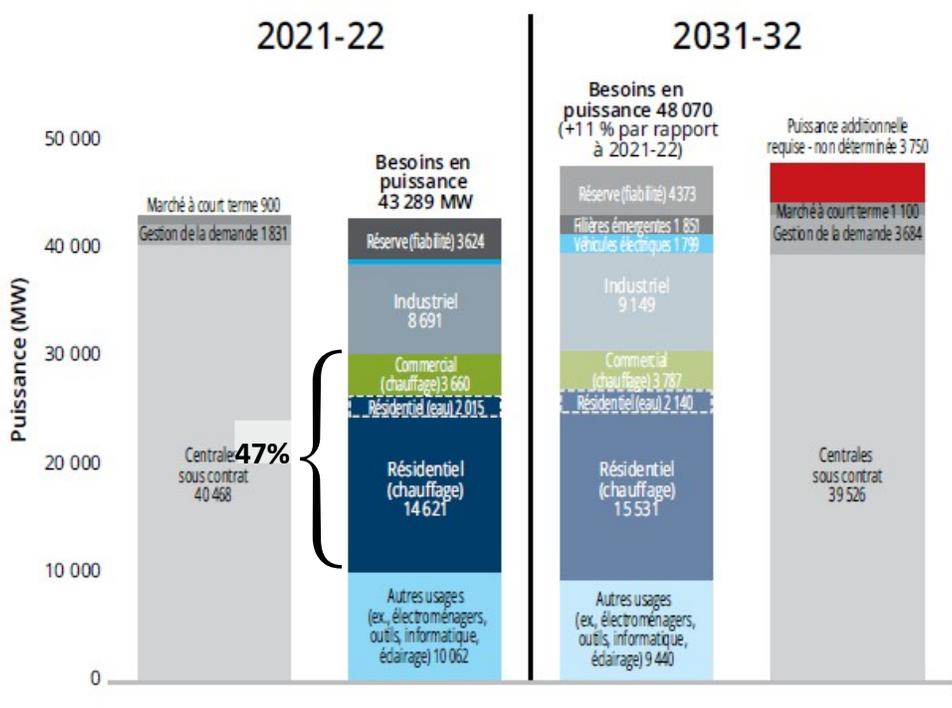
Selon les informations d'Hydro-Québec synthétisées dans le graphique suivant :

A l'hiver 2021-2022, 47% de la pointe hivernale était pour les besoins de chauffage des secteurs résidentiel et commercial (20 296 MW sur 43 289 MW).

Toujours pour les besoins de chauffage de ces secteurs, les prévisions d'Hydro-Québec sont de 21 458 MW à l'horizon 2031-2032, soit 45% de la pointe estimée à 48 070 MW.

PRÉVISIONS DES BESOINS ÉLECTRIQUES EN ÉNERGIE ET EN PUISSANCE AU QUÉBEC

B) Bilan de puissance par usage**



Source : État de l'énergie au Québec, édition 2023, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal, extrait du graphique 15, page 22. Site : <https://energie.hec.ca/eeq/>

Toute réduction de ces besoins de chauffage sur le réseau électrique lors des pointes grâce à une meilleure isolation thermique des bâtiments et l'utilisation plus efficace de l'électricité (ex : thermopompes vs plinthes) ou par le comblement des besoins de chauffage par d'autres sources d'énergie carboneutres (solaire passif, murs solaires, biométhane des résidus alimentaires, etc.) permettraient de dégager une marge de manœuvre pour accueillir d'autres demandes sur le réseau d'Hydro-Québec et de reporter les projets de nouvelle centrales hydroélectriques.

1.3) Potentiel technico-économique en énergie selon Hydro-Québec Distribution

Dans un [communiqué de presse du 4 avril 2023](#), Hydro-Québec rehaussait ses objectifs en efficacité énergétique à 25 TWh.

Cette valeur de 25 TWh provient de la révision du potentiel technico-économique (PTÉ) par Hydro-Québec Distribution. Le détail de cette étude est disponible sur le site de la Régie de l'énergie : document du 2021-09-21³ intitulé: « [Études de potentiel technico-économique en énergie \(suivi de la décision D-2019-088\)](#) ».

On y voit, en page 11, le potentiel technico-économique en efficacité énergétique compatible avec les critères de coûts évités d'Hydro-Québec Distribution (HQD) :

TABLEAU 5 :
SOMMAIRE DES RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION DES PTÉ (GWH)

| Secteurs | PTÉ 5 ans | PTÉ 10 ans |
|--------------------------------|---------------|---------------|
| Résidentiel | 5 147 | 5 691 |
| Agricole | 389 | 439 |
| Commercial et Institutionnel | 8 208 | 7 495 |
| Petites et moyennes industries | 1 459 | 1 599 |
| Grandes industries | 9 305 | 9 590 |
| TOTAL | 24 508 | 24 814 |

Source : [Études de potentiel technico-économique en énergie \(suivi de la décision D-2019-088\)](#)

Ces critères de coûts évités d'HQD sont décrits dans le dossier [R-4110-2019, pièce HQD-4, document 6 révisée \[B-0106\]](#)), section 6.1.1. déposé à la Régie de l'énergie. L'hiver, les coûts évités sont:

Pour l'énergie, de 2020 à 2026 inclusivement, le signal de coût évité pour la période hivernale (décembre à mars) est de 4,5 ¢/kWh (\$ 2020), indexé à l'inflation. À compter de 2027, le signal de prix est de 8,4 ¢/kWh (\$ 2020) indexé à l'inflation.

Pour la puissance, pour les hivers 2020-2021 à 2025-2026, le signal de coût évité est de 20 \$/kW-hiver (\$ 2020, indexé à l'inflation). À compter de l'hiver 2026-2027, le signal de coût évité est de 116 \$/kW-an (\$ 2020) indexé à l'inflation.

C'est donc avec ces critères que le potentiel technique en efficacité énergétique a été considéré économiquement viable.

³ Document classé en 2020 dans la section D-2019-088 de la Régie : <https://www.regie-energie.qc.ca/fr/participants/suivis-administratifs/electricite-distribution>

1.4) Potentiel technico-économique en chauffage identifié pour les secteurs Résidentiel, Commercial et Institutionnel : 8 TWh

Le PTÉ du secteur Résidentiel sur un horizon de 5 ans est détaillé au tableau suivant :

Tableau 9 : Potentiel technico-économique d'économie d'énergie – Secteur résidentiel (GWh) – Horizon 5 ans

| Usage | Nouveaux marchés GWh | Existant Remplacement en fin de vie GWh | Existant Remplacement en cours de vie GWh | Total GWh |
|--|----------------------|---|---|--------------|
| Chauffage | 599 | 618 | 1 386 | 2 603 |
| Eau chaude | 111 | 784 | 247 | 1 142 |
| Climatisation | 5 | 20 | - | 25 |
| Électroménagers produits électroniques | 25 | 214 | 290 | 529 |
| Piscines et spas | 63 | 527 | 181 | 771 |
| Éclairage | 1 | 31 | 46 | 78 |
| Total | 805 | 2 193 | 2 149 | 5 147 |

Source : [Études de potentiel technico-économique en énergie](#), Annexe A par TechnoSim Inc. (2020) / Potentiel technico-économique d'économie d'énergie électrique au Québec - Secteurs résidentiel, commercial et institutionnel (CI) et agricole

Pour le chauffage et l'eau chaude, ce potentiel est donc de 3 745 GWh, soit 3,7 TWh.

Pour le secteur Commercial et Institutionnel, on a :

Tableau 16 : Potentiel technico-économique d'économie d'énergie – Secteurs CI – Horizon 5 ans

| Usage | Nouveaux marchés GWh | Existant Remplacement en fin de vie GWh | Existant Remplacement en cours de vie GWh | Total GWh |
|-------------------------|----------------------|---|---|--------------|
| Chauffage | 258 | 1 174 | 2 766 | 4 198 |
| Eau chaude | 6 | 85 | 124 | 215 |
| Climatisation | 1 | 60 | 311 | 372 |
| Force motrice et autres | 27 | 644 | 1 351 | 2 022 |
| Éclairage | 17 | 559 | 824 | 1 400 |
| Total | 309 | 2 521 | 5 377 | 8 208 |

Source : [Idem](#), section 6.0, page 61

Soit un potentiel de 4,3 TWh pour le chauffage et l'eau chaude.

C'est donc un potentiel total de 8 TWh identifié sur un horizon de 5 ans spécifiquement pour le chauffage et l'eau chaude.

1.5) Baisse de puissance aux pointes hivernales grâce aux économies en chauffage identifiées au PTÉ pour les secteur Résidentiel, Commercial et Institutionnel : 920 MW

L'étude identifie aussi l'impact de ces mesures potentielles sur la baisse de demande de puissance lors des 100 heures de pointe. Pour le secteur Résidentiel on a :

Tableau D-2 : Impact en puissance des mesures du PTÉ – moyenne pour les 100 heures de pointe – secteur résidentiel

| Mesure | Nouveaux marchés MW | Existant Remplacement en fin de vie MW | Existant Remplacement en cours de vie MW | Total MW |
|---|---------------------|--|--|------------|
| Fenêtres ES | - | 207 | 68 | 274.5 |
| Pompe à chaleur géothermique | 9 | 45 | 138 | 192.3 |
| Nouvelle construction - ERS | 106 | - | - | 105.9 |
| Récupérateur de chaleur des eaux grises | 16 | 87 | - | 102.5 |
| Aérateur à très faible débit | 6 | 16 | 54 | 75.4 |
| Spas - isolation accrue | 10 | 31 | 5 | 46.1 |
| Pompe à chaleur à climat froid | 2 | 18 | 19 | 39.3 |
| Amélioration de l'isolation des murs du sous-sol | - | 5 | 26 | 31.3 |
| Pomme de douche à débit réduit | 1 | 6 | 20 | 26.8 |
| Lavage à l'eau froide | 1 | 17 | - | 17.9 |
| Couverture de chauffe-eau | 0 | 4 | 7 | 11.2 |
| Isolation des toits | - | - | 11 | 11.1 |
| VRC efficace | - | 7 | 3 | 9.2 |
| Remplacement des portes | - | 1 | 6 | 7.6 |
| Utilisation accrues de la corde à linge | 1 | 6 | - | 6.4 |
| Élimination et recyclage des seconds réfrigérateurs | 0 | 2 | 4 | 6.3 |
| Clapet de sècheuse anti-retour | - | 1 | 2 | 3.4 |
| Pompe à chaleur bi-bloc à climat froid | 0 | 2 | 1 | 3.0 |
| ... | | | | |
| Thermostat communicant | (1) | (11) | (13) | (25.0) |
| Thermostats programmables | (2) | (58) | (123) | (182.8) |
| Total | 149 | 389 | 240 | 778 |

Source : [Idem](#), annexe D, page 157

Soit un baisse potentielle de 620 MW pour les items surlignés en jaune, liés à l'isolation thermique, au chauffage et à l'eau chaude (inclue un correctif à la baisse puisque les thermostats programmables et communicant permettent déjà des économies aux pointes).

Pour le secteur Commercial et Institutionnel on a (extrait) :

Tableau D-4 : Impact en puissance des mesures du PTÉ – moyenne pour les 100 heures de pointe – secteur CI

| Mesure | Nouveaux marchés MW | Existant Remplacement en fin de vie MW | Existant Remplacement en cours de vie MW | Total MW |
|---|---------------------|--|--|----------|
| Géothermie | 9 | 34 | 102 | 144.5 |
| Récupération de chaleur de la réfrigération | - | - | 83 | 82.7 |
| Éclairage général DEL | - | 24 | 36 | 59.9 |
| Remise en service | - | 30 | 8 | 37.3 |
| Entraînement à vitesse variable pour les ventilateurs | - | 5 | 23 | 28.0 |
| Moteurs ECM - compteurs réfrigérés | 1 | 6 | 14 | 20.3 |
| NECB +40% | 19 | - | - | 19.4 |
| Éclairage naturel | 1 | 8 | 10 | 18.5 |
| Automatisation des contrôles (SGÉ ou équivalent) | - | 7 | 11 | 18.0 |
| Mur solaire | 0 | 3 | 14 | 17.2 |
| Fenêtres faible émissivité/argon/intercalaire isolant | - | 9 | 5 | 14.0 |
| Récupération de chaleur sur l'air évacué | - | 4 | 10 | 13.1 |
| Compresseurs à haut rendement | - | 5 | 8 | 13.1 |
| Compteurs à haute efficacité | - | 5 | 8 | 13.0 |
| Réduction de la pression de refoulement des compresseurs | - | 4 | 8 | 11.5 |
| Récupération de la chaleur de désurchauffe de réfrigération | - | 3 | 8 | 10.8 |
| Détecteurs d'occupation | - | 3 | 7 | 10.5 |
| Entraînement à vitesse variable pour les pompes | - | 3 | 5 | 7.8 |
| Amélioration de l'efficacité du système de ventilation | - | 1 | 7 | 7.2 |
| Plafond à basse émissivité | 0 | 1 | 5 | 6.2 |
| Amélioration de l'isolation des toits | - | 1 | 5 | 5.9 |
| Récupération de la chaleur des condenseurs de réfrigération | - | 1 | 4 | 5.4 |

Source : [Idem](#), annexe D, page 161

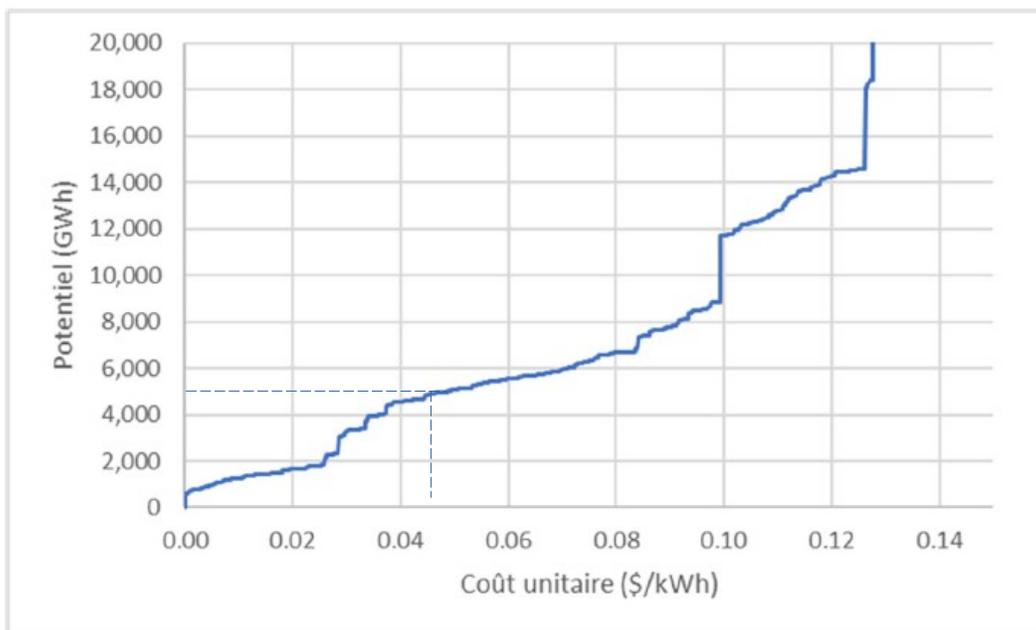
Soit un baisse potentielle de 300 MW pour les items surlignés en jaune, liés encore une fois à l'isolation thermique, au chauffage et à l'eau chaude.

En résumé, les économies en chauffage identifiées au PTÉ pour les secteur Résidentiel, Commercial et Institutionnel permettraient une baisse de puissance aux pointes hivernales de 920 MW.

1.6) Économie en chauffage des secteur Résidentiel, Commercial et Institutionnel : un potentiel de 17 TWh à 8¢/kWh, soit 9% des ventes d'électricité au Québec

Un critère de coût plus élevé d'investissement provoquerait des économies encore plus substantielles et permettrait donc de reporter des investissements importants en nouvelles centrales hydroélectriques. Le potentiel technique d'efficacité énergétique en fonction des coûts est indiqué dans l'étude citée. Pour le secteur résidentiel, on a (page 48) :

Figure 4 : Courbe de potentiel d'économie d'énergie au secteur résidentiel



Source : [Idem](#)

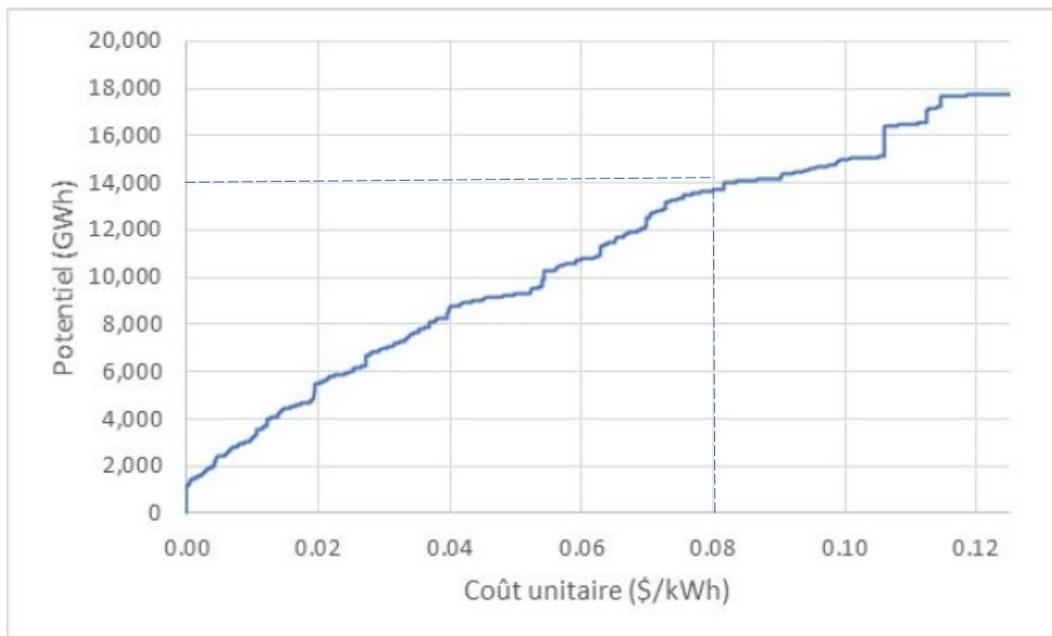
Sur cette courbe, le potentiel en économie d'énergie du secteur résidentiel de 5 147 GWh identifié précédemment correspond bien à un coût d'environ 4,5¢/kWh (critère d'HQD). **Ce potentiel est plus élevé si l'on prend par exemple le coût évité prévu à partir de 2027 (8,4 ¢/kWh indexé)** ou encore un critère à 10 ¢/kWh (tarif D résidentiel pour l'énergie journalière consommée au-delà de 40 kWh). Le potentiel serait alors situé entre 8 et 12 TWh.

Selon la firme expert qui a produit l'étude : « *Le potentiel associé au chauffage des bâtiments représente le poste le plus important du PTÉ résidentiel avec une part de 50%.* ».

On peut en déduire que le potentiel d'économie de chauffage du secteur résidentiel serait de l'ordre d'un peu plus de 3 TWh à 8 ¢/kWh et d'entre 4 et 6 TWh pour un critère économique à 10 ¢/kWh.

Pour le secteur Commercial et Institutionnel, le potentiel technique d'économie d'énergie en chauffage seulement est décrit par le graphique suivant (page 62 du document) :

Figure 5 : Potentiel technico-économique d'économie d'énergie aux secteurs CI – Usage chauffage



Source : [Idem](#)

Selon ce graphique, le potentiel d'économie en énergie de chauffage est de l'ordre de 14 TWh pour un coût d'environ 8 ¢/kWh et autour de 15 TWh pour un coût de 10 ¢/kWh.

Ainsi, selon ces deux graphiques, le potentiel d'économie en énergie de chauffage est de l'ordre de 17 TWh à un coût de 8 ¢/kWh⁴, soit 9 % des ventes d'électricité au Québec en 2022 (180,6 TWh).

Le potentiel est d'autant plus élevé que le critère de coût unitaire retenu l'est. Il serait ainsi de 20 TWh (± 1 TWh) pour un coût de 10 ¢/kWh (tarif D résidentiel pour l'énergie journalière consommée au-delà de 40 kWh).

⁴ Le coût évité d'Hydro-Québec Distribution sera de 8,4 ¢/kWh dès 2027.

1.7) Conclusion de la première partie

Selon les données d'Hydro-Québec :

- Sans chauffage, le Québec n'aurait besoin actuellement qu'environ 20 000 MW (95 percentile) pour répondre à ses besoins, avec quelques pointes à 23 000 MW;
- Les besoins en chauffage et chauffage de l'eau des secteurs Résidentiel, Commercial et Institutionnel représentaient 47% de la pointe hivernale 2021-2022;
- La révision du potentiel technico-économique à l'horizon de 5 ans d'Hydro-Québec Distribution identifie des économies combinées de 8 TWh annuellement, à un coût moyen de 4,5 ¢/kWh, et de 920 MW aux pointes hivernales pour les items reliés à l'isolation thermique, au chauffage et à l'eau chaude seulement;
- En se rappelant que le Complexe la Romaine⁵ a coûté 7,2 milliards de dollars pour 8 TWh et 1 550 MW à un coût moyen de 6,4 ¢/kWh, ces économies permettraient un report d'investissements importants en nouvelles centrales hydroélectriques;
- Si l'on considère un coût de 8,4 ¢/kWh (coût évité d'Hydro-Québec Distribution dès 2027), le potentiel d'économie en énergie de chauffage est alors de l'ordre de 17 TWh, soit 9 % des ventes d'électricité au Québec en 2022 (180,6 TWh);
- L'ensemble de ces économies permettraient de dégager une marge de manœuvre pour accueillir d'autres demandes sur le réseau d'Hydro-Québec.

⁵ Sources : Article de Radio-Canada « [Le complexe Romaine-4 est en service et « rentable » dit Hydro](#) » du 27 octobre 2022 par Zoé Bellehumeur et [Hydro-Québec, Complexe de la Romaine](#)

2) Bénéfices collatéraux d'une meilleure isolation thermique

2.1) Bilan de la tarification dynamique

À l'hiver 2022-2023, la tarification dynamique auprès de 228 000 clients a permis une baisse moyenne de 206 MW de puissance aux heures de pointe. Parmi ceux-ci, la majorité (202 000 clients) ont choisi l'option de crédit hivernal avec un crédit moyen 27 \$ par client.

L'hiver 2021-2022 était plus froid et la tarification dynamique moins répandue car toujours en projet pilote (157 000 clients) avait quand même permis une baisse moyenne de 157 MW de puissance aux heures de pointes. Parmi les participants, 141 000 clients avaient choisi l'option de crédit hivernal avec un crédit de 46 \$ en moyenne.

Notre famille a aussi participé au crédit hivernal avec une économie de 415,75 kWh pour 216 \$ de crédit à l'hiver 2022-2023 (8 fois la moyenne) et une économie de 900,61 kWh pour 456 \$ de crédit à l'hiver 2021-2022 (10 fois la moyenne).

Comment expliquer un tel écart de performance? Trois raisons principales :

- Les personnes ne comprennent pas clairement ce qu'il faut faire pour diminuer leur consommation aux heures de pointe (ceci transparaisait dans le forum de discussion de la tarification dynamique);
- La demande en puissance et énergie est très variable selon le type d'habitation et beaucoup plus faible par exemple pour un logement à l'étage et adjacent à d'autres logements qu'une grande maison individuelle;
- La demande en énergie et puissance de chauffage aux heures de pointe est aussi fonction du niveau d'isolation et de la masse thermique totale de l'habitation : une bonne masse thermique permet un stockage thermique avant la pointe et une excellente isolation permet de couper totalement le chauffage avec une faible baisse de la température intérieure durant la pointe.

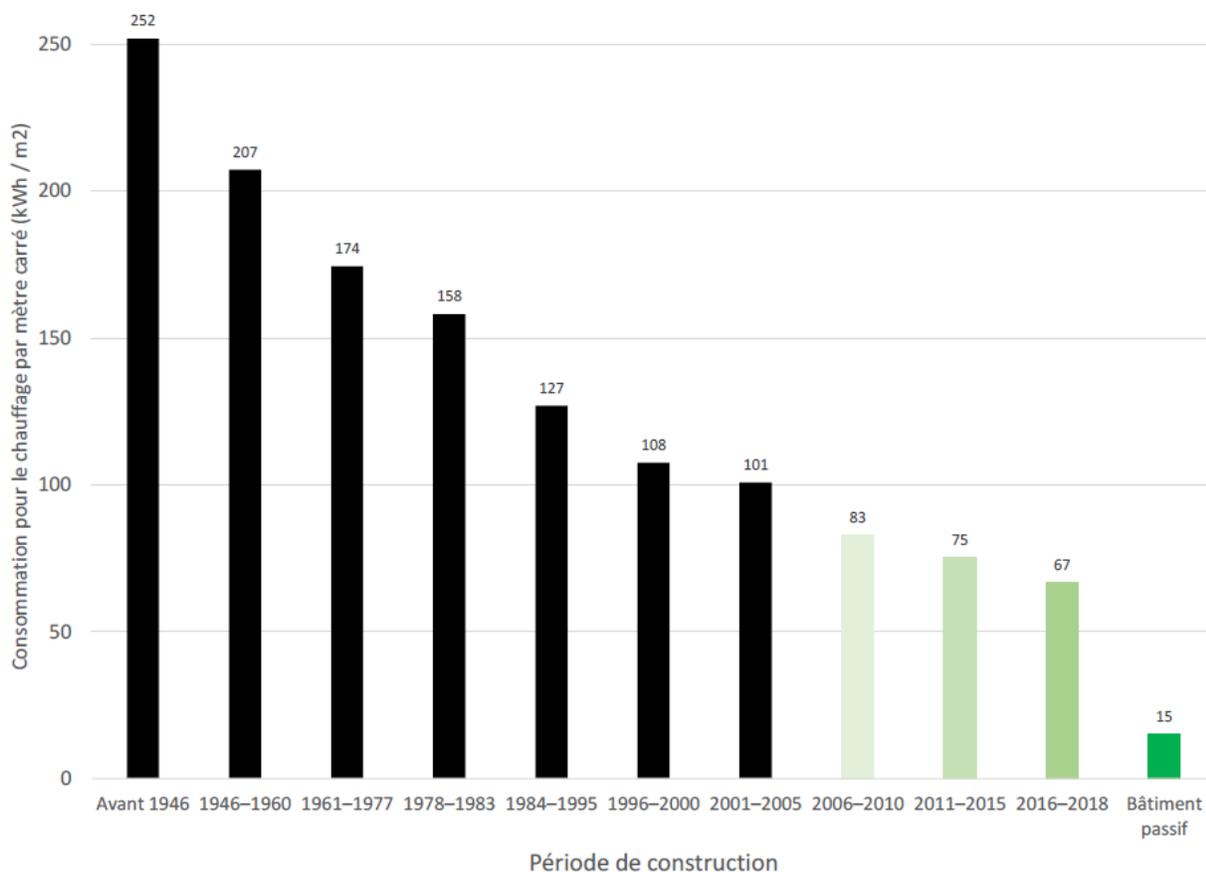
2.2) Stockage et isolation thermique : gages du succès de la tarification dynamique aux heures de pointes hivernales

Pour cette section, je me baserai sur mon expérience personnelle, en montrant qu'elle pourrait être transposée à plusieurs ménages et induire des économies substantielles en puissance et énergie.

Notre famille de quatre habitons un cottage construit en 1965 avec une consommation annuelle de 21 294 kWh du 2022-02-03 au 2023-02-02 et de 23 103 kWh du 2021-02-03 au 2022-02-02.

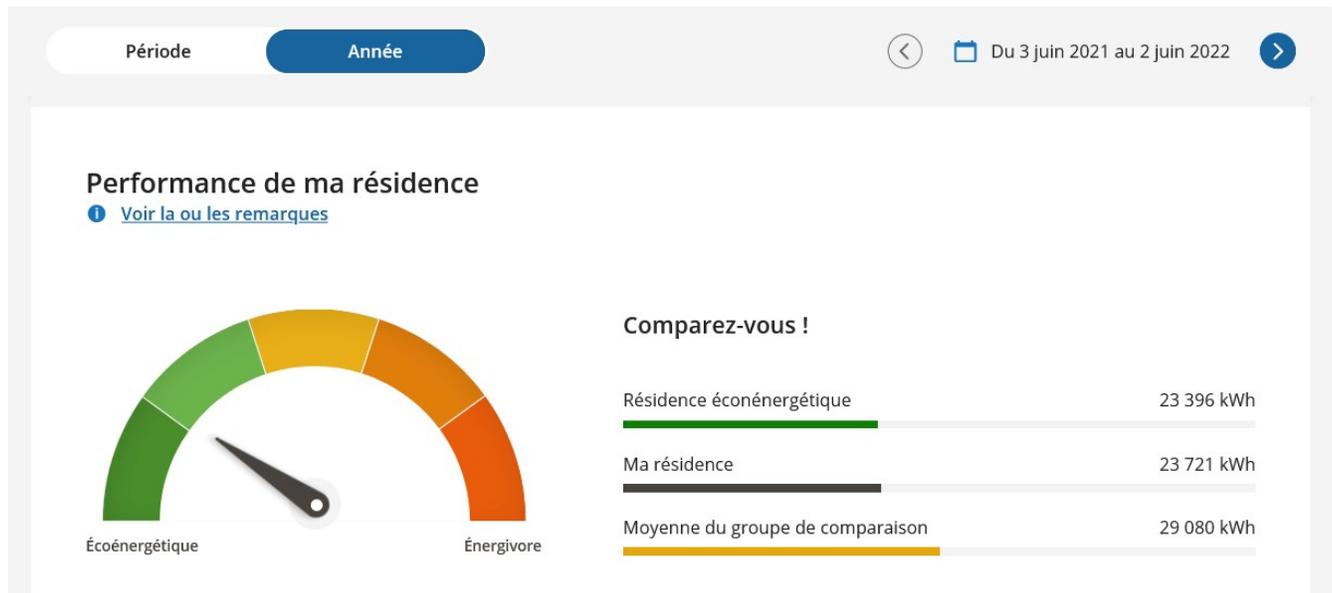
Selon le Rapport d'étude No 05 (2021) de la Chaire de gestion du secteur de l'énergie du HEC Montréal intitulé : « Quantification du potentiel d'efficacité énergétique du parc de logements québécois: des térawattheures à portée de main ! », en 2018, 74% des résidences du Québec étaient des maisons individuelles avec une consommation moyenne de 256 kWh/m² (RNCan 2018) dont environ 69,7% (178 kWh/m²) pour les besoins de chauffage. Cette consommation énergétique moyenne dépend de l'isolation thermique, celle-ci ayant progressé au fil des années comme l'indique le graphique suivant :

Graphique 2. Consommation d'énergie pour le chauffage résidentiel, par année de construction du bâtiment, Québec, 2018, kilowattheure par mètre carré (kWh/m²) (RNCan, 2021a)

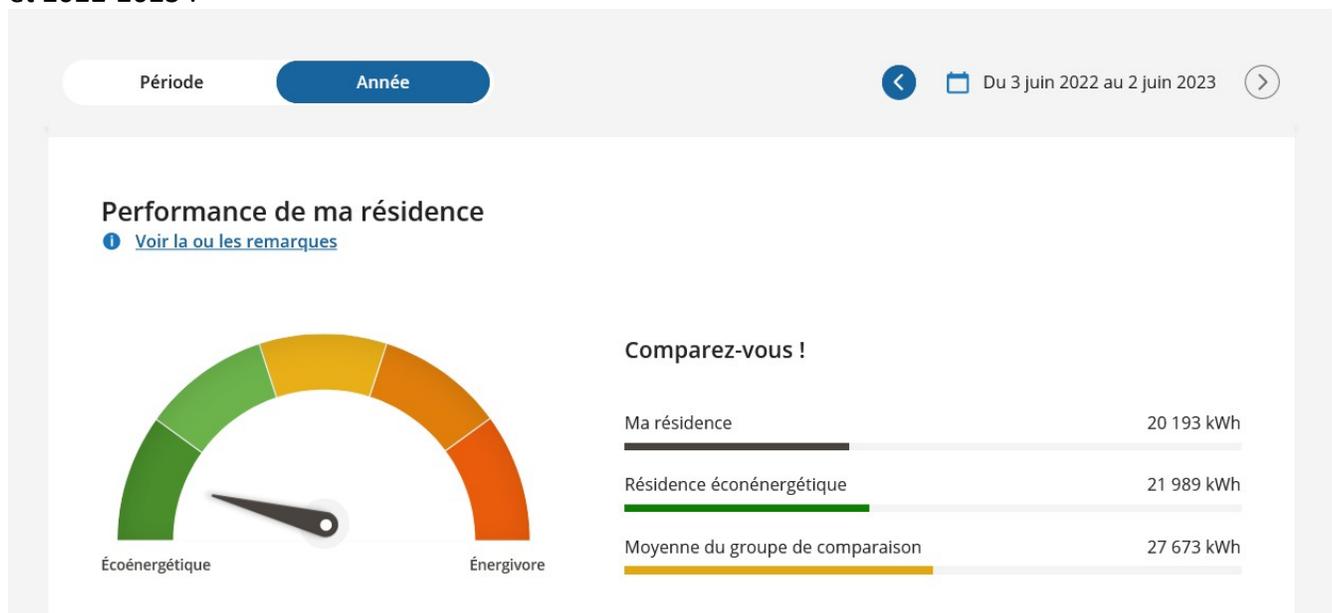


Source : L'efficacité énergétique pour soutenir la transition énergétique : enrichir le Québec et lutter contre les changements climatiques (2021) par Pierre-Olivier Pineau, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal.

C'est là où notre situation est différente. Si l'on divise notre consommation énergétique annuelle par la surface habitable de notre résidence (129,3 m²), la consommation totale d'électricité de notre famille était de 179 kWh/m² en 2021-2022 et de 165 kWh/m² en 2022-2023 soit, en considérant seulement le chauffage⁶ 115 kWh/m² en 2021-2022 et 96 kWh/m² en 2022-2023. L'isolation thermique de notre résidence serait donc excellente en se fiant aux performances énergétiques de notre résidence pour les périodes 2021-2022 :



et 2022-2023 :



Source : Hydro-Québec, Consommation indiquée dans l'espace client selon notre profil

⁶ Selon l'estimation par HQ pour le chauffage de notre résidence indiquée dans notre espace client, soit : 14 858 kWh en 2021-2022 (3 juin 2021 au 2 juin 2022) et 12 476 kWh en 2022-2023 (3 juin 2022 au 2 juin 2023)

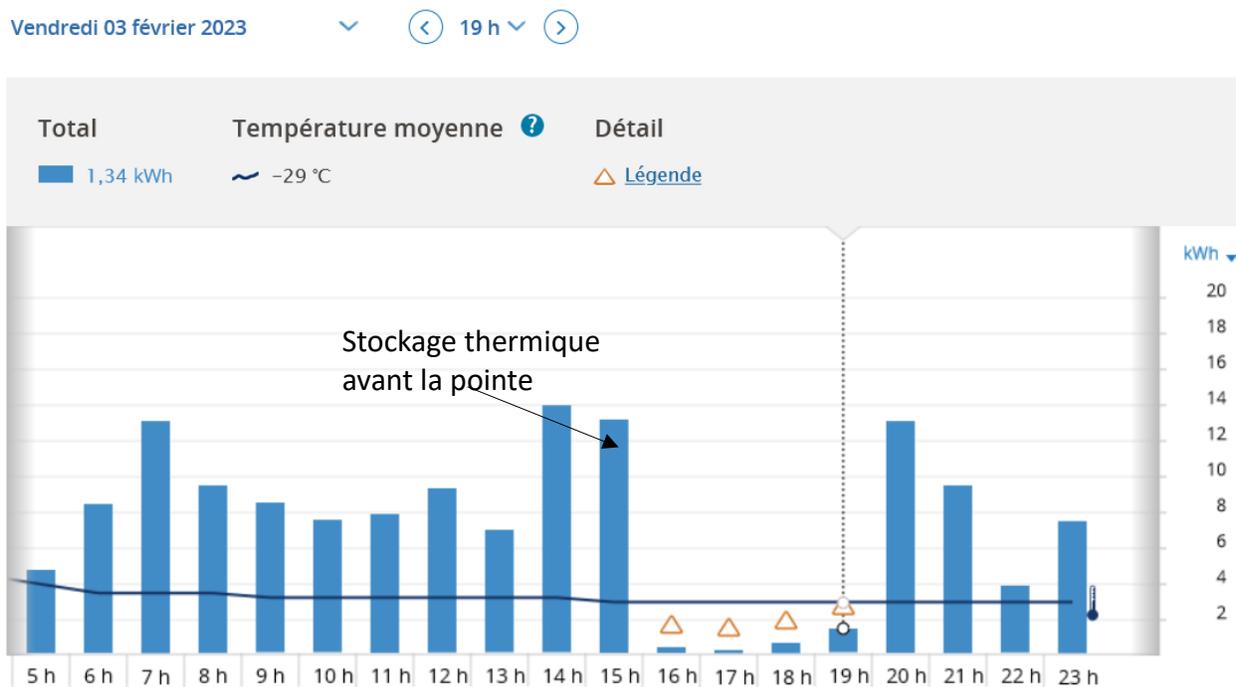
Lors des pointes hivernales, nous procédions comme suit :

Normalement nous maintenons une température de 18°C la nuit et de 21°C le jour.

La veille d'une pointe matinale annoncée, nous laissons la température à 19°C la nuit (stockage thermique) pour ensuite fermer le chauffage de 6 h jusqu'à 9 h le matin. La température intérieure de la maison descendait d'environ 1°C/heure durant la pointe et indiquait environ 17 °C à 9 h le matin.

Pour une pointe le soir (de 16 h à 20 h), nous montions le chauffage à 23 °C avant la pointe (stockage thermique) pour ensuite fermer le chauffage à 16 h. La température était environ de 18 °C à 20 h.

Par exemple pour une pointe le soir, la consommation ressemblait à ceci :



Source : Hydro-Québec, Consommation indiquée dans l'espace client pour le 23 février 2023 : Température moyenne de -29 °C, chauffage coupé de 16 h à 20 h avec 1,34 kWh de consommation à 19 h.

Dans le forum de discussion de la tarification dynamique d'Hydro-Québec, peu pouvaient couper le chauffage puisque leur résidence se refroidissait beaucoup trop rapidement sans chauffage (2 °C/heure et plus). Même si leur consigne de chauffage était plus basse (disons 18 °C), le chauffage démarrait constamment durant la pointe pour maintenir cette consigne.

À l'hiver 2021-2022, nos économies de 900,61 kWh aux heures de pointe se sont traduites par une économie moyenne de 33 kWh lors des pointes matinales (21 pointes de 6h à 9h) et de 27 kWh lors des pointes du soir (9 pointes de 16h à 20h).

En multipliant seulement par 100 000 (maisons similaires), c'est donc 3 300 MWh qui auraient été retirés en pointe du matin, soit 1 100 MW de puissance durant 3 heures, et 2 700 MWh de moins en pointe du soir, soit 675 MW durant 4 heures.

Évidemment, tous ne peuvent sauver autant. Cependant, si tous les types de logements du Québec étaient mieux isolés, l'économie potentielle de consommation d'électricité aux pointes par l'intermédiaire d'une tarification dynamique serait considérable (économies d'énergie hors pointe aussi...).

Notons aussi que des systèmes de stockage thermique efficaces (ex : masses thermiques, géothermie, réservoirs) permettraient d'accumuler la chaleur avant les pointes. Ces systèmes de stockage pourraient faire partie intégrante des bâtiments ou de réseaux de chaleur desservant des quartiers denses.

Une isolation thermique exemplaire combinée à un éventuel stockage thermique sont gages du succès de la tarification dynamique aux heures de pointes hivernales.

2.3) Isolation thermique et résilience face aux changements climatiques

Dans la dernière année, nous avons connu au Québec de nombreux événements extrêmes causés par les changements climatiques. La tempête hivernale avant Noël 2022, le verglas d'avril 2023 et les feux de forêts de juillet en pleine canicule ont causés des pannes électriques touchant plusieurs centaines de milliers de québécoises et québécois.

Malheureusement, ces événements se multiplieront dans les prochaines années et dans ces conditions, une bonne isolation thermique peut faire une différence importante en cas de panne électrique.

On peut imaginer l'impact d'une panne électrique majeure lors d'une canicule chez les populations défavorisées qui habitent souvent des logements qui deviennent alors trop chaud, car mal isolés. Ces canicules avec un haut degré d'humidité seront d'ailleurs plus fréquentes et plus chaudes. L'isolation des logements fait donc aussi partie des mesures de mitigation pour l'adaptation aux changements climatiques et augmenter notre résilience comme société.

Au delà de l'aspect énergétique, une bonne isolation thermique des logements pourrait dans le futur sauver des vies! D'où l'importance d'instaurer des programmes de subvention pour l'isolation thermique des logements.

3) Source énergétique de chauffage et stockage de l'énergie

3.1) Sources énergétiques de chauffage

Comme indiqué à la section 1, sans chauffage le Québec n'aurait besoin 95% du temps que de 20 000 MW d'électricité.

Les besoins énergétiques du Québec en terme de chauffage sont considérables. Ces besoins méritent d'être traités comme une classe à part et non pas comme faisant partie nécessairement des besoins électriques. Ceci permet de dégager plusieurs avenues.

Énergie solaire : On perçoit souvent le développement de l'énergie solaire par l'intermédiaire des panneaux photovoltaïques. Ceux-ci nécessitent une haute technologie, des matériaux rares, sont à 80% fabriqués en Chine et ont un rendement énergétique maximal de 30%... lorsqu'il fait soleil. D'une durée de vie d'environ 20 ans, on ne sait pas encore comment les recycler. Cette énergie électrique étant intermittente, il faut aussi la régulariser sur le réseau par l'apport d'autres sources d'énergie lorsque la production baisse ou la stocker lorsqu'il y a surplus de production.

Énergie solaire thermique : En contrepartie, 100% de l'énergie solaire reçue peut chauffer directement les bâtiments. Plusieurs solutions existent tels que des panneaux solaires, des murs solaires ou en intégrant les meilleures pratiques de solaire passif lors de la conception même des bâtiments. Le stockage énergétique est aussi beaucoup plus simple, faisant intervenir des masses thermiques plutôt qu'un réseau électrique. L'expertise locale ferait travailler des gens d'ici, ce qui est bon pour l'économie québécoise.

Biomasse : Une partie de la biomasse peut servir au chauffage que ce soit directement en la brûlant ou après transformation (ex : biométhane issus d'usines de biométhanisation des résidus alimentaires ou agricoles). La biomasse au Québec a un potentiel théorique important⁷ de 158 PJ (43,9 TWh) ou même de 326 PJ (90,6 TWh) si on inclue les résidus forestiers de 1^{re} et 2^e transformation (déjà essentiellement récupérés et valorisés). Cependant, une grande part de cette importante biomasse est généralement loin des zones densément peuplées et la biomasse forestière **n'est pas toujours carboneutre**⁸.

⁷ [Inventaire de la biomasse disponible pour produire de la bioénergie et portrait de la production de la bioénergie sur le territoire québécois](#), WSP (2021)

⁸ [Avis scientifique - L'utilisation de la biomasse forestière pour réduire les émissions de gaz à effet de serre du Québec](#), Ministère des Ressources naturelles (2012)

Thermopompes : Les thermopompes sont une façon beaucoup plus efficace de chauffer avec l'électricité. Selon la température extérieure, il peut suffire de 1 kW d'électricité pour produire 3 à 4 kW de chauffage et les thermopompes à basse température permettent même des rendement de 1,75 kW de chauffage pour 1 kW d'électricité lorsqu'il fait -15 °C à l'extérieur.

Malheureusement ces systèmes efficaces ne peuvent être installés à faible coût lorsque le chauffage du bâtiment est exclusivement fait à partir de plinthes électriques. Une réflexion du gouvernement devrait être faite pour voir s'il serait opportun d'encadrer ou même de réglementer les systèmes de chauffage des nouvelles constructions de sortes que les systèmes utilisés intègrent déjà des thermopompes ou en permettent l'ajout sans coût majeur (éviter donc les systèmes de chauffage à plinthes).

Ceci dans l'optique de promouvoir une meilleure efficacité énergétique afin de baisser la pression sur le réseau électrique québécois et en considérant les énormes besoins en chauffage propre à notre climat.

De plus, les thermopompes permettent la climatisation l'été ce qui est un avantage supplémentaire pour l'adaptation aux changements climatiques.

Géothermie : La géothermie comportent des coûts importants principalement dus aux forages requis, ce qui en limite normalement son utilisation pour des bâtiments de grande dimension. Cependant, la recherche progresse et certaines méthodes, tel que les puits à colonne permanente, ont des **coûts 2 à 5 fois moins élevés**⁹ que celle de puits en boucle fermée qui représentent actuellement 90% des installations au Canada.

Les coûts d'investissements peuvent aussi être moindre pour le client selon le modèle d'affaire de l'entreprise. Par exemple dans le modèle d'affaire de Marmott Énergies, le client paie une contribution initiale, entre 5 000\$ et 20 000\$, qui représente une fraction seulement du coût du système géothermique. Le système géothermique demeure propriété de Marmott Énergies qui devient donc fournisseur d'énergie géothermique et s'assure de son bon fonctionnement et de son entretien. Le client verse ensuite une mensualité, entre 100\$ et 200\$ - toujours inférieure aux économies prévues.

Malgré qu'il y a plein d'entreprises œuvrant dans le domaine de la géothermie et des centres et chaires de recherches en géothermie au Québec, cette source d'énergie renouvelable est peu connue. Une explication partielle est qu'il n'y a pas d'association qui fédère les différents acteurs en géothermie du Québec.

Recommandation : Instaurer un colloque annuel sur la géothermie, les thermopompes, la récupération de chaleur et les réseaux de chaleur pour partager les avancées dans ces domaines, les projets innovants et les avenues potentielles.

⁹ [Conception des systèmes géothermiques à puits à colonne permanente](#), Institut de l'énergie Trottier

Récupération de chaleur : La récupération de chaleur peut se faire au sein même d'un bâtiment. De telles mesures de récupération sont indiquées aux extraits des tableaux D-2 et D-4 de la section 1,5 de mon mémoire. Pour une liste plus complète avec les potentiels identifiés, se référer plutôt aux tableaux D-1 à D-4 aux pages 156 à 162 du [document de référence](#).

La récupération de chaleur peut aussi s'effectuer entre bâtiments. Plusieurs projets existent déjà au Québec tels que la récupération de chaleur des centres de données pour chauffer des serres ou plus récemment le [projet](#) de chauffer 128 logements sociaux et un CPE de 148 places à partir de l'énergie thermique excédentaire du Centre de glaces de Québec (environ 715 000 kWh). On peut considérer ce dernier projet comme un microréseau urbain de chauffage.

Microréseaux de chaleur (et de climatisation) :

Il y a quelques microréseaux de chaleur (et parfois même de climatisation) au Québec. En 2012, un document disponible sur le site du Ministère des Affaires municipales et de l'habitation ([Les systèmes urbains de chauffage et de climatisation : une formule qui connaît un regain de popularité](#)) en dénombrait 6, dont le plus important était celui du centre-ville de Montréal, toujours en fonction :

Maintenant filiale d'Énergir, [Énergir chaleur et climatisation urbaines](#) opère trois réseaux souterrains distincts d'eau chaude, de vapeur et de climatisation. Ces réseaux sont alimentés par quatre chaudières (puissance totale de 145 MW) et par cinq refroidisseurs (puissance totale de 18,4 MW). Les réseaux alimentent près de 2 millions de m² d'espaces à vocations diverses : tours de bureaux, centres commerciaux, hôtels, gare de chemin de fer, campus et appartements de prestige. L'entreprise réalise des projets d'efficacité énergétique impliquant de plus en plus de sources d'énergie renouvelable (solaire, biocombustible, ou encore du gaz naturel renouvelable) afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre de ses clients.

Comme projets récents on pourrait aussi citer comme exemple le système de chauffage de la [Cité-Verte à Québec](#) à base de granules provenant de biomasse forestière ou encore le [réseau de chaleur de la municipalité de Saint-Urbain](#). Ce dernier projet a été mis en place en 2019 à partir de biomasse forestière résiduelle afin d'alimenter en chaleur l'église, une école et le centre communautaire.

Ce sont quelques exemples mais on pourrait aller plus loin. Les sources d'énergies de tels microréseaux peuvent être très diverses et proviennent de plus en plus de sources d'énergies renouvelables. Ces microréseaux peuvent aussi stocker de l'énergie sous forme thermique.

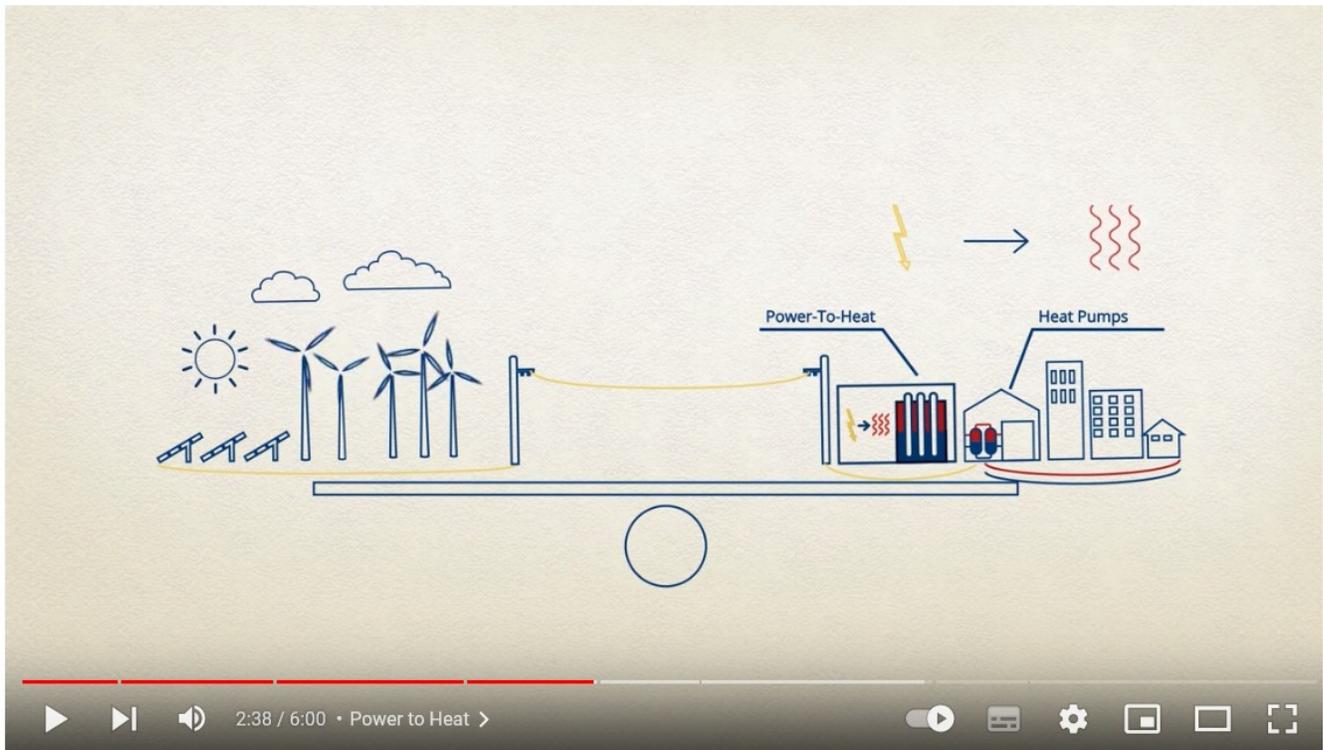
Par exemple en 2018 en France¹⁰, les 780 réseaux de chaleur ont livré 25,4 TWh de chaleur à plus de 40 000 bâtiments raccordés, dont 57% provenait d'énergie renouvelable.

Les réseaux de chaleur y sont considérés comme un outil majeur de la transition énergétique.

¹⁰ Source : ADEME (2020) : [Développement des filières réseaux de chaleur et de froid renouvelables en France à horizon 2050](#) - Impacts socio-économiques et environnementaux, stratégie et plan d'actions

En terminant, une vidéo vulgarisant le concept des réseaux de chaleur intelligents et deux références pour pousser la réflexion :

Smart Heat Grid Hamburg, vidéo de vulgarisation (6 minutes) du concept de réseau de chaleur intelligent, incluant le stockage thermique du surplus de production des énergies renouvelables. Extrait : « *the excess electricity could be converted into heat and stored. That would make this system more efficient because storing heat is most cheaped than storing electricity...* » : <https://www.youtube.com/watch?v=KIK31uGAJFo>



ADEME (2020) : [Développement des filières réseaux de chaleur et de froid renouvelables en France à horizon 2050](#) - Impacts socio-économiques et environnementaux, stratégie et plan d'actions : Beaucoup d'informations pertinentes dont la description des forces, faiblesses, opportunités et menaces dont certaines sont transposables au Québec. L'ADEME (L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) a aussi produit beaucoup d'autres documents en lien avec les réseaux de chaleur, dont un guide technique de création de réseau de chaleur.

On rêve de l'expertise technique et de la quantité de documentation et de soutien que produit l'ADEME en France. Pourquoi ne pas modifier Transition énergétique Québec en quelque chose de plus ambitieux, inspiré de l'ADEME?

4th Generation District Heating (4GDH) - Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems / Energy (2014)

Article cité 2357 fois, d'où est tiré cette illustration :

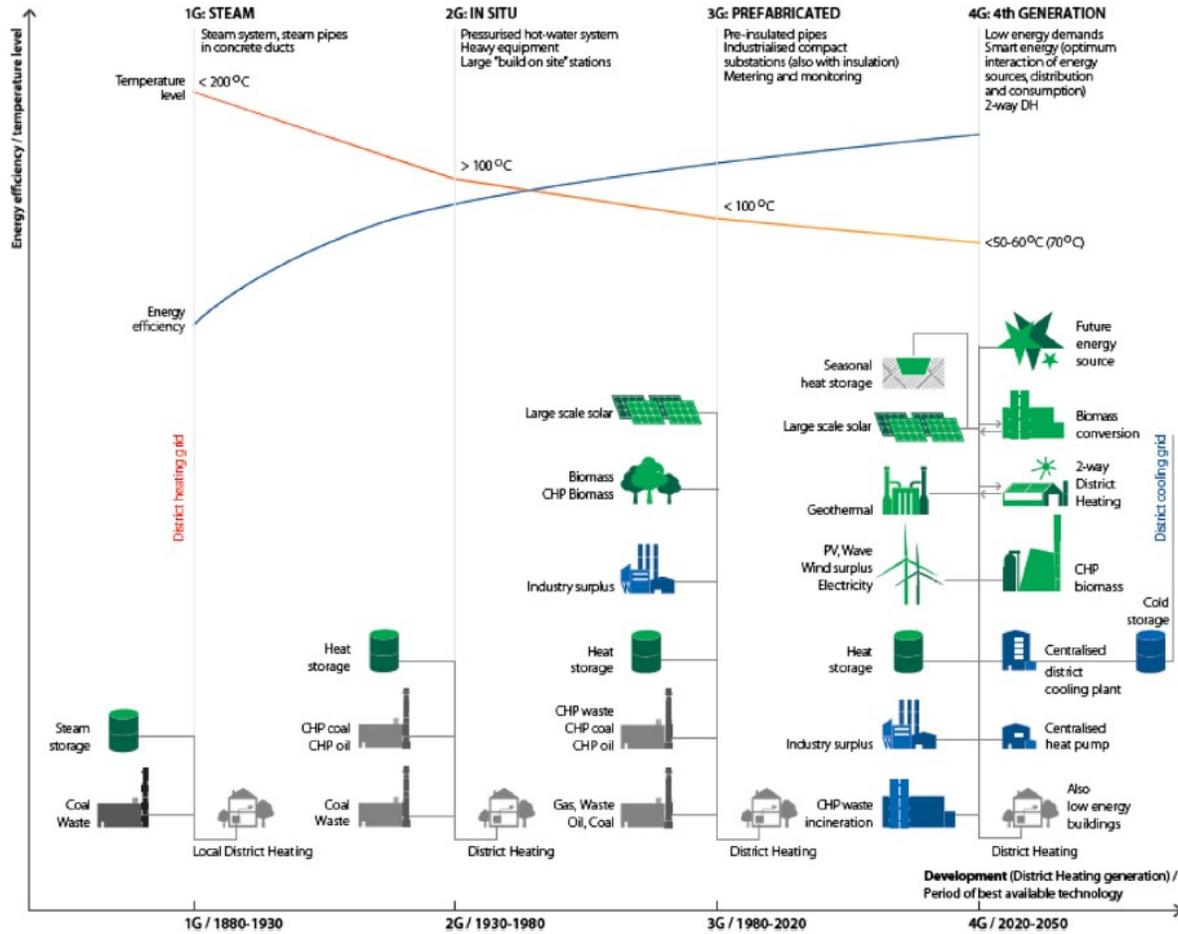


Fig. 2. Illustration of the concept of 4th Generation District Heating in comparison to the previous three generations.

Espérant que les quelques idées ébauchées dans ce mémoire vous seront utiles.