

FEUILLE DE ROUTE VERS DES BÂTIMENTS MONTRÉALAIS ZÉRO-ÉMISSION DÈS 2040

MÉMOIRE SOUMIS PAR LE REGROUPEMENT CELSIUS

14 décembre 2022

Contexte

Ce mémoire est présenté par un regroupement d'organismes et de citoyen.ne.s qui travaillent ensemble depuis plusieurs années sur l'adaptation des logements résidentiels existants pour soutenir la transition socio-écologique à Montréal.

Ce regroupement inclut:

- Coop Celsius, une coopérative de solidarité à but non lucratif, qui mise sur l'action citoyenne pour bâtir des projets rassembleurs de transition énergétique tout en développant des milieux de vie plus verts, équitables et prospères.
- Solon, un OBNL qui accompagne les quartiers de Montréal dans la transition socio-écologique.
- Coop Carbone, une coopérative de solidarité sans but lucratif qui soutient le développement de projets collaboratifs de réduction des GES au Québec
- La Chaire de recherche du Canada en action climatique urbaine, qui vise à analyser et contribuer aux différentes formes d'action collective face aux changements climatiques dans les régions urbaines, par des recherches comparées et des partenariats ancrés dans les milieux.

Ces acteurs sont au cœur du "Lab Celsius", un partenariat en place depuis plus d'un an et qui regroupe aussi le BTER, PME Mtl et le Fonds Climat du Grand Montréal, avec l'objectif (1) d'établir une vision commune sur la transition du résidentiel existant à Montréal et (2) d'identifier les barrières et leviers permettant de mettre en oeuvre cette vision.

Par conséquent, le présent mémoire ne traite qu'une partie spécifique de la feuille de route proposée par la Ville de Montréal: le petit résidentiel (en-dessous de 12 logements) existant (par opposition aux nouveaux bâtiments).

Objectifs et orientations générales

Nous rejoignons totalement l'objectif de la Ville de Montréal de rendre 0-carbone opérationnel tous les bâtiments montréalais à l'horizon 2040. Nous félicitons la Ville pour sa vision et son courage, qui rejoignent pleinement les intentions énoncées depuis plusieurs années.

Par contre, nous pensons qu'il est essentiel d'inscrire la feuille de route dans une vision plus large de transition socio-écologique, et par conséquent de coupler à cet objectif 0-carbone plusieurs autres objectifs placés sur un égal niveau d'importance:

- Penser le 0-carbone de façon méso, à l'échelle de Montréal, et inclure notamment la question de la gestion de pointe.
- Réduire la consommation d'énergie.
- Stimuler le pouvoir d'agir citoyen et l'appropriation des enjeux climatiques.
- Lutter activement contre la précarité énergétique.
- Renforcer la résilience de nos communautés, du point de vue des infrastructures, tant physiques (ex.: accès à la climatisation, verdissement...) que sociales (projets collectifs, création de liens...).

Pour le dire autrement, nous pensons que la feuille de route représente une formidable opportunité d'utiliser le cadre résidentiel existant pour soutenir les objectifs plus larges de Montréal. À l'inverse, restreindre les objectifs risque de générer d'autres enjeux indésirables et effets rebonds, voire même de limiter notre capacité à atteindre l'objectif 0-carbone.

Cette proposition d'élargissement des objectifs se nourrit de constats importants de la littérature scientifique. En visant le cadre bâti résidentiel, la feuille de route pour une décarbonation et les règlements en découlant viendront toucher la sphère de l'habitat et du logement. Plusieurs expériences à travers le monde montrent des effets des politiques énergétiques dans le cadre bâti qui débordent des émissions des gaz à effet de serre, et qui peuvent être autant négatives que positives pour la qualité de vie dans les quartiers et les logements. Il y a des effets attendus sur les coûts reportés sur les locataires, et donc l'abordabilité des logements. Les mesures peuvent aussi exacerber la précarité résidentielle, les rénovations étant associées au phénomène de "rénovictions", y compris suite à des rénovations écologiques (Bouzarovski et al. 2018, Steinberg 2020). Des études en cours à Vancouver par des chercheurs du Département de géographie de l'University of British Columbia montrent que malgré des programmes de subvention pour la décarbonation qui devaient limiter le transfert des coûts sur les locataires, l'absence de mécanismes de suivi semble limiter leur portée, laissant les locataires vulnérables à l'augmentation de loyers et aux "rénovictions".

En agissant sur la sphère du logement et de l'habitat, la Ville a une responsabilité de ne pas exacerber les inégalités existantes, et de contribuer à les diminuer. Ceci joue aussi sur la précarité énergétique, définie comme une situation d'inconfort et de difficultés quotidiennes où les conditions énergétiques domestiques contribuent à la pauvreté et empêchent la pleine participation à la société (Bouzarovski et Petrova 2015: 33). Le document soumis à consultation précise d'ailleurs que 18% des ménages québécois en souffriraient actuellement (p.28). Or, le Québec, tout comme le Canada, est parmi les retardataires dans l'adoption de politiques publiques pour s'attaquer à cet enjeu (Riva et al. 2022). Si le coût de

l'énergie est moins élevée au Québec que dans les autres provinces canadiennes, il s'ajoute néanmoins à un problème croissant quant à l'abordabilité des loyers. Surtout, ce sont les pauvres conditions du bâti et l'isolation défectueuse qui rendent difficile d'obtenir une température adéquate pour plusieurs ménages. Ces enjeux d'isolation, de confort dans le logement et de précarité résidentielle, qui ont particulièrement d'impacts sur les femmes, ont aussi été noté dans l'avis récent du Conseil des montréalaises pour une transition juste et féministe à Montréal. En mettant en place de nouvelles réglementations pour le bilan GES du cadre bâti, la Ville de Montréal a une opportunité d'agir en même temps sur le contrôle de la qualité des conditions des logements (insalubrité, isolation) et le contrôle des loyers, et sur la compilation des données sur ces questions. Les données qui manquent pour bien s'orienter dans les actions futures ne concernent en effet pas seulement les GES émis : elles concernent aussi l'abordabilité des loyers - une condition essentielle pour une décarbonation des régions urbaines selon le récent rapport du GIEC (IPCC 2022, 4-79, 4-90), pour garder les ménages près des infrastructures de transport actif et collectif - et l'état actuel de la précarité et pauvreté énergétique dans les logements montréalais, pour exiger des mesures plus fortes en ce sens aux propriétaires. Ne pas mettre en place de telles mesures irait à l'encontre du principe posé dans la feuille de route d'une transition juste.

En plus des questions d'équité, la feuille de route soulève des enjeux d'engagement citoyen dans la transition énergétique et, plus largement, dans la transition socio-écologique. Réduire les GES dans le bâti résidentiel implique une volonté d'agir sur la consommation énergétique des ménages. Nous savons depuis longtemps, dans le domaine énergétique comme dans d'autres champs d'ailleurs, que l'amélioration de la performance et de l'efficacité énergétique entraîne le plus souvent un effet rebond d'augmentation de la consommation. Dans le cas des thermopompes, plusieurs études européennes ont montré une augmentation de la superficie chauffée dans la maison, des heures chauffées et même de la température que se permettent les ménages, suite à l'amélioration du système énergétique (Winther et Wilhite, 2015). Cet effet rebond est lié à des normes culturelles et à certaines exigences de la technologie (ex. circulation d'air versus garder des portes fermées et accepter des salles plus froides). Ces normes culturelles et l'appropriation de la technologie est médiée par des habitudes, savoirs-faire et attentes citoyennes que les concepteurs de technologies et les régulateurs ont de la difficulté à prendre en compte au niveau macro (Judson et al. 2015, Winther et Wilhite 2015). La prise en compte de ces savoirs et attentes citoyennes semble encore plus importante quand on souhaite agir sur la gestion de la pointe, qui touche directement les routines et l'horaire des pratiques quotidiennes des ménages (qui, en général, utilisent l'énergie dans les mêmes tranches d'heures vu l'organisation du travail, de l'école et des autres activités quotidiennes, etc., Anderson 2016, Winther et Wilhite 2015, Strengers 2013).

Pour agir sur les pratiques énergétiques, les recherches en sciences sociales montrent que les approches individuelles ne sont pas ou peu efficaces; il y a de forts déterminants collectifs à l'œuvre (Shove 2012). Selon la théorie des pratiques, qui est de plus en plus utilisée pour comprendre ce qui fait que des pratiques perdurent ou se modifient, il faut considérer les liens entre cadre bâti et techniques, normes sociales et savoirs-faire du quotidien. Comment les pouvoirs publics peuvent-ils comprendre et agir sur ces dynamiques? Les travaux scientifiques suggèrent que c'est notamment en valorisant les motivations et savoirs tacites des citoyen.ne.s dans l'organisation de leur vie quotidienne et la transformation de leurs

milieux de vie, et en améliorant les connaissances sur ces dynamiques de changements de pratiques de pair avec la technique (Guy et Shove 2013, Strengers 2013).

Dans ce mémoire, nous proposons la mise en place de structures d'action collective locales qui permettraient d'agir sur ces différents niveaux. Les mécanismes d'engagement citoyen ne portent pas seulement sur une nouvelle technologie ou source énergétique partagée, comme dans le cas de communautés énergétiques, mais plus largement sur la mise en place d'un espace de prise de décision locale, de mobilisation, de suivi et de partage d'expertise pour adopter collectivement des mesures sur l'habitat et les aménagements environnants (Lopez 2019, Strengers 2011). Dans plusieurs villes du monde, des structures locales ont été développées, portant le projet de boucles énergétiques et financières plus viables et locales, encourageant la mobilisation, l'engagement et l'appropriation des questions de transition et de production de la ville (Lopez 2019, Blanchet 2015). Ailleurs, c'est sur la résilience aux aléas climatiques que les réseaux de soutien se développent, comme une étude produite par le HEC pour la Ville de Montréal l'a montré (Duroselle et al. 2021). Les structures d'action collective locales peuvent permettre d'appréhender de manière transversale la décarbonation, la transition socio écologique et la résilience des logements dans les quartiers. Elles pourraient permettre d'avancer sur plusieurs objectifs du Plan Climat 2020-2030 de la Ville de Montréal, notamment sur la mobilisation citoyenne, l'équité et la mise en place de pôles de résilience.

Choix technologiques

Sources d'énergie

Notre regroupement est agnostique sur les technologies à employer dans la mise en place de la feuille de route, pour autant qu'elles permettent d'atteindre les objectifs visés. Ce dernier point nous amène à l'analyse suivante.

Il faut sortir les hydrocarbures du résidentiel dès maintenant, et éviter de s'enfermer dans des logiques qui nous y attachent, en particulier au gaz naturel, pour une durée longue et à toutes fins utiles ultérieure à l'objectif de 2040. Par conséquent, nous pensons que les changements doivent se faire vers du 100% électrique et ne plus utiliser de gaz naturel, même dans une combinaison bi-énergie.

Le passage au 100% électrique doit nécessairement inclure l'usage d'une thermopompe (TP), afin de réduire l'impact sur la gestion de pointe et sur la consommation d'électricité, mais aussi favoriser l'accès à la climatisation dans un contexte de multiplication des vagues de chaleur.

Pour les mêmes raisons, nous pensons par ailleurs que la feuille de route doit également privilégier l'accès à ces technologies pour des logements qui fonctionnent déjà pour l'instant en 100% électrique, ceci afin de réduire, voire annuler, l'accroissement de la consommation électrique absolue et lors des périodes de pointe.

Ces thermopompes peuvent être de deux familles, aérothermie et géothermie, chacune pouvant être mise en œuvre selon plusieurs configurations. Dans le cas de l'aérothermie, il

nous semble nécessaire de privilégier les thermopompes climat froid, qui conservent un bon rendement à très basse température et peuvent par conséquent réduire le besoin en pointe.

Suite au projet vitrine de la coopérative Celsius, une analyse de la performance énergétique de la géothermie ainsi qu'une modélisation d'équipement aérothermique ont été réalisées pour un 5-plex typique. Le rapport complet est disponible en annexe de ce mémoire. Globalement, notre conclusion est que l'aérothermie est moins chère et plus rapide à installer que la géothermie. Par contre, la géothermie est plus efficace que l'aérothermie et présente plusieurs avantages, en particulier au niveau de l'intégration urbaine (pas de bruit extérieur, pas de rejet de chaleur risquant d'accentuer les îlots de chaleur et pas d'impact esthétique) et de la mobilisation citoyenne.

Cette conclusion amène des questions complexes, qu'il revient à la Ville de trancher. Est-on prêts collectivement à prendre le risque d'installer de l'aérothermie à grande échelle, malgré les enjeux d'intégration urbaine? Le surcoût de la géothermie est-il justifié, dans l'absolu ou dans certains contextes locaux particuliers (quartiers souffrant déjà de plus d'enjeux similaires), et, s'il est justifié, par qui devrait-il être supporté? L'aérothermie devrait-elle être accompagnée d'autres projets d'intervention urbaine permettant de compenser ses enjeux (verdissement, etc.) et, si oui, dans quels quartiers prioritaires et selon quel financement?

Accroissement de la consommation électrique de la décarbonation

Un des freins à la décarbonation est lié au fait que la conversion de chauffage au combustible fossile accroîtra la consommation électrique absolue et lors des pointes hivernales, le tout menant à des discussions sur la construction de nouveaux barrages hydroélectriques.

Notre modélisation montre toutefois que ce n'est pas nécessairement le cas. En fait, nous remarquons qu'il est possible d'annuler l'accroissement de la consommation électrique absolue et en pointe suite à un changement d'un système de chauffage au gaz naturel vers l'électricité en ajoutant des thermopompes dans les logements chauffés avec des plinthes électriques. Le tableau suivant résume quelques scénarios à l'étude.

	100% Élec	RDC GN Log Élec	100% Géo	100% Aéro
Électricité consommée pour la chauffe (MWh)	52.8	33.1	29.4	32.1
Gaz consommé pour la chauffe RDC (kWh)	-	23.16		
Réduction de la consommation d'énergie par rapport à 100% électrique	-		44%	39%
Électricité consommée pour la chauffe en période de pointe (kWh)	1781	1116	993	1174
Moyenne de la puissance lors de la pointe (kW)	19.4	12.1	10.8	12.8

Comme illustré dans le tableau, les scénarios 100% géo (G1) et 100% aéro (A2)¹, qui représentent des situations où le 5-plex est chauffé avec de la géothermie ou de l'aérothermie dans tous les logements, consomme au final moins d'électricité que le scénario où le RDC est chauffé au gaz naturel et les logements avec des plinthes.

Pour ce qui est de la pointe, si le logement du RDC convertit son chauffage du gaz à l'électricité, on ajoute 664 kWh de consommation lors des pointes hivernales (on passe de 1117 à 1781 kWh pour le 5-plex). Toutefois, si le 5-plex implante la géothermie (comme le projet vitrine), la consommation de pointe tombe à 993 (125 kWh de moins que lorsque chauffé au gaz au RDC). L'installation de thermopompes aérothermiques dans les 5 logements consomme quant à elle 1175 kWh lors des 92 heures de pointe, donc une consommation quasi équivalente (58 kWh de plus) au scénario avec gaz naturel. Ainsi, l'installation de thermopompes dans des logements chauffés à l'électricité permet de réduire la consommation électrique absolue et en pointe à un niveau équivalent à l'accroissement dû à la conversion du logement au gaz naturel.

Nous sommes conscients de la possibilité d'ajouter à ces configurations un accumulateur thermique permettant de complètement déplacer la pointe pour des logements visés. De notre perspective, ce type de solution est fort coûteux et ne répond qu'à un seul besoin, celui de la gestion de pointe. Par conséquent, il nous est difficile de nous positionner sur sa pertinence sans analyse méso, à l'échelle de Montréal et avec Hydro-Québec. Mais nous tenons à rappeler que les solutions avec TP permettent selon nos résultats de compenser l'accroissement de la pointe dû au changement de source de chaleur à un coût additionnel similaire à l'accumulateur thermique tout en apportant de nombreux autres avantages.

Scénarios

Dans ce contexte, la Ville devrait mener deux actions pour continuer à affiner le chemin technologique pour 2040:

- Continuer à réunir des données, qualitatives (coûts, rentabilité, etc.) et quantitatives (impact sur les îlots de chaleur, etc.), sur les configurations techniques possibles, dans des contextes physiques différents. Ces données pourraient venir de la recherche, de projets existants ou encore de projets pilotes spécifiques, le cas échéant.
- Sur cette base, établir des trajectoires technologiques pour le résidentiel existant qui se basent sur des scénarios non seulement micro (le logement individuel) mais aussi et surtout :
 - Méso, à l'échelle de la ville de Montréal, pour tenir compte des disparités entre quartiers et des questions d'équité et de précarité énergétique.
 - Multi-critères, afin de tenir compte de l'ensemble des objectifs mentionnés au début de ce mémoire, et non seulement de la sortie des hydrocarbures.

Programmes

Dans le contexte actuel des prix de l'énergie, et considérant les options technologiques à privilégier pour atteindre nos objectifs collectifs, il nous semble inévitable de mettre à

¹ voir les détails dans le rapport en annexe

disposition des propriétaires de logements résidentiels des programmes de subvention. Les différents paliers de pouvoir (fédéral, provincial, municipal) proposent déjà différents programmes.

Nous soulignons ici plusieurs aspects qui selon nous devraient présider à la conception ou la mise à jour de ces programmes, tout en reconnaissant que la Ville ne dispose pas de tous les leviers correspondants:

- Équité. De manière évidente, ces programmes devraient être équitables. Par exemple, il nous paraîtrait plus logique d'octroyer des montants fixes par logement plutôt que par bâtiment. Le contraire revient à encourager par de l'argent public les grands logements, ce qui, en plus d'être très inéquitable, va à l'encontre des autres objectifs de la Ville. Des demandes en ce sens de la Ville aux paliers de pouvoir appliquant actuellement cette logique inéquitable seraient justifiées.
- Niveau de subventions. Sur base de l'analyse technique présentée en annexe et de notre compréhension des programmes disponibles (fédéral et provincial), il nous semble que les subventions offertes aux propriétaires par ces programmes ne devraient pas être augmentées par la Ville. Par exemple, un scénario basé sur l'aérothermie peut être rentabilisé sur une période raisonnable dans l'état actuel des choses (moins de 15 ans). Par contre, la Ville devrait envisager d'intervenir à deux autres niveaux pour atteindre ses objectifs:
 - Soutenir la conception et la mise en œuvre d'outils financiers permettant de financer les travaux de propriétaires qui ne sont pas prêts à ou pas capables d'investir la somme initiale et de supporter la longueur de la période de remboursement. Les structures d'action collective locale, présentées plus bas dans ce mémoire, constituent un outil idéal pour héberger ce type d'outil.
 - Prévoir des fonds pour des interventions urbaines qui devraient accompagner les travaux dans les logements. Ces interventions auraient un double rôle: (1) compenser les enjeux d'intégration urbaine amenés par l'aérothermie, le cas échéant (ou remplacer l'aérothermie par la géothermie, voir plus haut) et (2) soutenir la mobilisation et l'action citoyenne en ajoutant des avantages visibles et collectifs (ex.: verdissement, plantation d'arbres, etc.). Ces fonds auraient un impact sur la dynamique de changement et, à nouveau, leur mise en œuvre serait grandement facilitée par l'existence de structures d'action collective locale.
- Protection des locataires: Ces programmes devraient systématiquement inclure des clauses de protection des locataires contre des hausses de loyer indues et des mécanismes précis permettant de s'assurer du respect de ces clauses. Là encore, des demandes de la Ville aux niveaux de pouvoir concernés seraient justifiées.
- Équité territoriale: La Ville de Montréal devrait mettre en place des mécanismes permettant d'assurer que les subventions publiques sont réparties équitablement sur son territoire et, plus particulièrement, que cette répartition tienne compte de la réalité de ses différents quartiers, par exemple au niveau de la précarité énergétique et de l'existence d'îlots de chaleur.
- Lisibilité: Les programmes publics sont très compliqués à comprendre, encore plus quand ils proviennent de différents paliers et se recoupent. Il serait intéressant de maximiser leur lisibilité, soit dans les programmes eux-mêmes soit dans des mécanismes d'appropriation.

Certaines de ces caractéristiques peuvent être compliquées à établir uniquement par conception du programme, et doivent probablement se concrétiser dans des mécanismes de mise en œuvre adaptés.

Mécanismes de mise en œuvre

Les différents programmes de soutien à l'action des propriétaires doivent nécessairement être couplés à des mécanismes de mise en œuvre permettant d'assurer que les changements nécessaires dans le résidentiel se réalisent réellement, selon le calendrier ambitieux qui est visé par la Ville, tout en respectant les objectifs collectifs mentionnés plus haut.

Selon nous, deux types de mécanismes sont nécessaires: (1) des structures d'action collective locale et (2) des mécanismes de mise en commun à l'échelle de la ville.

Structures d'action collective locale

Au-delà des programmes de subvention et des calculs de rentabilité, la mobilisation des citoyen.ne.s est absolument clé pour que les changements se fassent, surtout dans un temps aussi court (17 ans).

La Coop Celsius, une coopérative locale, en partenariat avec Solon, a pu faire de nombreux apprentissages à ce sujet lors des 5 dernières années, par exemple:

- Une très grande volonté des citoyen.ne.s de se mobiliser pour soi et pour leur quartier, à condition de rester dans l'action continue.
- Une "non-neutralité" technologique dans le sens, par exemple, que l'idée de la géothermie a généré une mobilisation particulièrement facile.
- Une mobilisation accrue lorsque les projets peuvent être couplés à des interventions urbaines, par exemple du verdissement et des aménagements dans les ruelles.
- L'importance de la justice et de l'équité pour soutenir la mobilisation sur la durée.

La recherche peut également être mobilisée pour compléter ces apprentissages empiriques. En effet, plusieurs travaux ont mis de l'avant l'intérêt de structures locales pour augmenter le pouvoir d'agir des citoyen.ne.s et augmenter leur capacité à contribuer à la résilience et à la transition socio-écologique. Strengers (2011) propose depuis une dizaine d'années la mise en place de structures de cogestion. Elle cite des exemples comme un écovillage avec structure participative de cogestion où les résident.e.s ont choisi collectivement une stratégie de ventilation et d'ombrage pour l'été pour limiter la climatisation, des éléments travaillés dans plusieurs écoquartiers et espaces de cohabitat.

La cogestion peut aller encore plus loin, et s'inscrire dans une optique de résilience et de soutien social, comme les pôles de résilience et réseaux communautaires qui se développent pour faire face à la chaleur accablante. En effet, en touchant l'habitat, on peut travailler de manière beaucoup plus transversale, à la fois sur la précarité énergétique, la transition énergétique et la résilience aux aléas climatiques. Lamb et ses collègues (2022) ont par exemple étudié les effets en termes de résilience aux aléas climatiques des coopératives d'habitation aux États-Unis. 234 coopératives ont été étudiées et leur étude conclut que la structure coopérative a aidé les résident.e.s en 1) améliorant l'accès aux

ressources, notamment aux programmes de subvention et au prêts pour améliorer leur cadre bâti, 2) en améliorant les capacités pour évaluer les risques et les compétences des résident.e.s dans les améliorations de leur environnement et 3) développant la capacité sociale et institutionnelle d'autonomie et d'autogestion (Lamb et al. 2022: 2).

Les structures locales d'action collective sont aussi porteuses pour soutenir le développement de nouvelles compétences et capacités dans les changements de pratiques énergétiques en lien avec les améliorations techniques (Lopez 2019). Pour les citoyen.ne.s, des structures locales sont un socle qui facilite l'engagement et l'action, et leur rôle dans la transition socio-écologique est de plus en plus étudié au Québec comme ailleurs (Van Neste et al. à venir, Gregg et al. 2020, Raven et al. 2021, Proulx et Van Neste 2022). Dans Rosemont le rôle de Solon comme intermédiaire local s'est montré clé dans le développement d'un pouvoir d'agir citoyen (Audet, 2019 et 2023), tandis qu'une recherche sur les initiatives de géothermie partagée montrent l'importance des structures préalables de mobilisation collective (comité de ruelles, coopératives d'habitation) pour l'émergence et le maintien des projets dans le temps, notamment pour faire évoluer les projets lorsqu'il rencontrent des obstacles réglementaires et financiers (Proulx, 2023). Ces structures peuvent permettre un empowerment des résident.e.s par l'espace d'engagement et de choix collectifs locaux qu'elles ouvrent, valorisant les projets locaux, les motivations et les expériences concrètes des citoyen.ne.s dans la transformation de leur habitat et de leur vie quotidienne, tout en les supportant à travers les embûches. Les coopératives d'habitation peuvent notamment être une inspiration, puisque les résident.e.s y sont membres pour participer aux décisions locales et au travail collectif d'amélioration et de maintien de leur habitat et espaces partagés.

Ces différents éléments nous amènent à proposer la mise sur pied d'un réseau de structures d'action collective locale à l'échelle de la ville. Ces structures pourraient remplir plusieurs fonctions, dont certaines nous semblent essentielles (développement de capacités sur la transformation des logements et d'un pouvoir d'agir citoyen, protection des droits des locataires) et d'autres dépendent des priorités locales et des moyens:

- Activités de mobilisation, échanges et formations, incluant tant les propriétaires que les locataires et d'autres parties prenantes, dont les arrondissements.
- Organisation de dialogues locaux, appropriation du changement (ex.: sobriété énergétique et effet rebond) et priorisation des interventions urbaines associées (installations collectives et aménagements de quartier, isolation thermique, verdissement, gestion des eaux, réseaux d'animation et de soutien social des personnes plus vulnérables) ou de projets pilotes jugés nécessaires.
- Développement du pouvoir d'agir collectif dans la lutte aux changements climatiques.
- Distribution et suivi des financements prévus dans les programmes dédiés, afin d'assurer leur utilisation mais également le respect des conditions associées (notamment l'inclusion des locataires).
- Facilitation des interventions dans les bâtiments de ses membres, par exemple:
 - Organisation de formes de mentorat citoyen et d'aide à la décision.
 - Établissement d'un registre des fournisseurs et suivi de leurs performances.
 - Mise à disposition de ses membres de financement complémentaire, y compris par le recours à des parts privilégiées ou obligations communautaires.

- Investissement dans des infrastructures communes et leur gestion, le cas échéant (ex.: géothermie collective, réseau de chaleur, etc.).

En termes de gouvernance et de structure juridique, de nombreuses options sont possibles au sein de l'économie sociale (OBNL ou coopérative). Leur détail peut être différent d'un territoire à l'autre et il faudra d'ailleurs analyser la faisabilité d'utiliser certaines structures existantes. La taille des territoires couverts par chaque structure est à discuter (quartier ou plus grand?). Toutefois, il nous apparaît qu'une structure de coopérative de solidarité à but non lucratif, comme le teste la Coop Celsius, offre le plus de flexibilité par rapport à l'étendue des rôles possibles et la prise en compte des intérêts de toutes les parties prenantes, en plus de pouvoir bénéficier de l'expérience directe construite depuis 5 ans par les citoyen.ne.s qui se sont mobilisés pour sa réussite.

Au niveau du financement de ces structures, une option assez évidente serait de s'inspirer des mandats écoquartiers (financement annuel des structures par l'arrondissement, sur base d'un mandat précis). Toutefois, ce fonctionnement présente plusieurs enjeux et nous suggérons d'approfondir une alternative qui consisterait à offrir une dotation initiale à chaque SACL. Cette dotation serait investie dans les 2-3 premières années de la SACL dans les projets énergétiques de ses membres. Les remboursements de ceux-ci offriraient à la SACL des revenus suffisants sur la durée pour financer ses activités et priorités.

Cette alternative nous semble particulièrement intéressante dans la mesure où :

- Il s'agit d'un mécanisme connu et déjà appliqué par les pouvoirs publics dans des contextes similaires, comme dans l'exemple du Fonds Climat du Grand Montréal.
- Le fonctionnement pourra directement s'appuyer sur l'expérience de la Coop Celsius, qui a défriché les différents enjeux liés à ce type d'intervention (juridique, contractuel...).
- Elle permet de stabiliser le fonctionnement des SACL et de leur donner une capacité de planification sur la durée, avec un horizon 2040 aligné avec les objectifs de la Ville. Pour le dire autrement, la Ville se doterait ainsi d'alliés solides pour livrer son plan.
- Elle permet aux SACL d'établir leur indépendance, dans un cadre donné, et donc de mettre en place plus facilement une gouvernance collective et représentative.
- L'investissement associé, s'il peut paraître important, ne représente selon nos estimations qu'une fraction de l'investissement public qui sera injecté dans les programmes de subvention pour les propriétaires, et ne sera à dépenser qu'une fois.
- Le décaissement de la dotation apportera une quantité de données sur base desquelles il sera sans doute très facile de concevoir les outils financiers privés permettant de prendre la suite en terme d'investissement.

Mécanismes de mise en commun à l'échelle de la ville

En plus des structures d'action collective locale, nous proposons à la Ville de mettre en place une instance de co-construction de la mise en œuvre de la feuille de route pour les logements résidentiels. Cette instance devra réunir au minimum des représentants de structures locales, des experts, des fonctionnaires et des chercheurs.

Elle pourra directement s'inspirer de et s'inscrire dans Transition en Commun (TeC), une alliance entre la Ville, les citoyen.ne.s et la société civile, dans le cadre de laquelle la Ville s'est récemment engagée, au plus haut niveau, à favoriser une réelle logique de co-construction pour la transition socio-écologique. La question de la feuille de route décarbonation, pour la partie résidentielle, nous semble naturellement devoir rentrer dans cette logique et le présent mémoire s'appuie sur cet engagement fort de la Ville.

Au niveau de la Ville, cette instance de co-construction devra aussi permettre de sortir de la logique de silos et d'assurer un travail conjoint entre les différents services qu'il est nécessaire d'avoir autour de la table, dans l'esprit de TeC, notamment le Bureau de la transition écologique et de la résilience, le Service de la diversité et de l'inclusion sociale ou encore le Service du développement économique et le Service de l'habitation.

Cette instance de co-construction pourra remplir les fonctions suivantes, de façon non exhaustive:

- Coordination d'une stratégie d'expérimentation (projets pilotes) permettant de renforcer de manière continue nos connaissances et les projets mis à disposition des structures locales et des propriétaires. Ce point dépend de l'existence d'un budget spécifique à la réalisation de projets pilotes, qui ne fait pas l'objet d'une analyse dans ce mémoire mais qui nous apparaît nécessaire.
- Évaluation annuelle de l'application de la feuille de route.
- Plus largement, identification, collecte et mise à disposition des données permettant de faire les bons choix (coûts, consommation, co-bénéfices, précarité énergétique et abordabilité des loyers, etc.). Ce travail pourrait être fait directement en collaboration avec des partenaires universitaires, qui sont déjà engagés dans Transition en Commun.
- Co-construction et mise à jour des programmes publics et, le cas échéant, de certains règlements spécifiques, de manière à amener transparence et agilité dans la mise en œuvre de la feuille de route. En particulier, la présence des structures locales permet d'assurer un retour continu du terrain.
- Facilitation de l'accès par les structures locales à des expertises pointues.
- Établissement et mise à jour de scénarios méso sur la transformation des logements du petit bâtiment résidentiel (à l'échelle de Montréal), temporels (jusqu'en 2040) et multi-critères (recouvrant l'ensemble des objectifs visés) de façon à informer les prises de décision et les évaluations.

L'hébergement de cette instance pourrait se faire directement dans TeC, étant donné le soutien déjà confirmé par la Ville. Son financement à long-terme devra faire l'objet de discussions spécifiques entre les partenaires. À court-terme, ce groupe pourrait se mettre en place très rapidement, en reprenant les travaux du lab Celsius mais en les amenant à un autre niveau, avec d'autres partenaires amenant la légitimité suffisante pour la logique de co-construction proposée. Une annonce en ce sens pourrait être faite dès le Sommet Climat de début mai 2023 du Partenariat Climat Montréal.

Conclusion

Encore une fois, nous félicitons la Ville pour son ambition. Ce mémoire présente des perspectives et plusieurs recommandations pour la mise en œuvre de la feuille de route 2040 pour la partie résidentielle. En conclusion, nous insistons sur les éléments suivants:

- En priorité, soutenir la mise en place d'un réseau de structures d'action collective locale, qui pourront remplir plusieurs rôles décisifs détaillés dans le mémoire et devenir des alliés clés de la Ville.
 - Pour la mise en place de ces structures, explorer le modèle de coopérative de solidarité à but non lucratif, couplé à une dotation initiale.
- Inscrire ce réseau dans une mise en commun à l'échelle montréalaise, qui vient elle-même directement s'articuler avec Transition en Commun, une alliance sur la transition socio-écologique soutenue au plus haut niveau par la Ville et dédiée notamment à la co-construction de politiques publiques.
- Donner à cette concertation des objectifs nettement élargis incluant, au-delà de la réduction directe de GES, des notions d'efficacité énergétique, de résilience, d'équité, de soutien à l'action citoyenne et de lutte à la précarité énergétique.
- Conserver une logique agnostique au niveau des technologies, pour autant qu'elles permettent d'atteindre les objectifs. Sur cette base, établir une feuille de route méso et multi-critères à l'échelle de la ville.

Références

- Anderson, B. (2016). Laundry, energy and time: Insights from 20 years of time-use diary data in the United Kingdom. *Energy Research & Social Science* 22, 125–136. doi: [10.1016/j.erss.2016.09.004](https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.09.004).
- Audet R, Segers I, Manon M, 2019, “Expérimenter la transition écologique dans les ruelles de Montréal : le cas du projet Nos milieux de vie !” *Lien social et Politiques* (82) 224–245
- Bernstein, S., and Hoffmann, M. (2018). The politics of decarbonization and the catalytic impact of subnational climate experiments. *Policy Sci* 51, 189–211. doi: [10.1007/s11077-018-9314-8](https://doi.org/10.1007/s11077-018-9314-8).
- Blanchet T, 2015, “Struggle over energy transition in Berlin: How do grassroots initiatives affect local energy policy-making?” *Energy Policy* 78 246–254
- Bouzarovski S, Petrova S, 2015, “A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty–fuel poverty binary” *Energy Research & Social Science* 10 31–40
- Bouzarovski, S., Frankowski, J., and Tirado Herrero, S. (2018). Low-Carbon Gentrification: When Climate Change Encounters Residential Displacement. *Int. J. Urban Reg. Res.* 42, 845–863. doi: [10.1111/1468-2427.12634](https://doi.org/10.1111/1468-2427.12634).
- Das R R, Martiskainen M, Bertrand L M, MacArthur J L, 2022, “A review and analysis of initiatives addressing energy poverty and vulnerability in Ontario, Canada” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 165 112617
- Das R R, Martiskainen M, 2022, “Keeping the Lights On: Ensuring energy affordability, equity and access in the transition to clean electricity in Canada”, David Suzuki Foundation, <https://davidsuzuki.org/science-learning-centre-article/keeping-the-lights-on-ensuring-energy-affordability-equity-and-access-in-the-transition-to-clean-electricity-in-canada/>
- Duroselle, B., Jean-Lévesque, V et Ziegler, R. 2021. “Les modèles de pôles de résilience climatique et communautaire, à l’échelle nationale et internationale” Rapport pour le Bureau de la transition écologique et de la résilience de la Ville de Montréal. DOI: 10.13140/RG.2.2.25715.25126
- Galderisi, A., and Colucci, A. (2018). “Enhancing Community Resilience in Barcelona: Addressing Climate Change and Social Justice Through Spaces of Co-management,” in *Smart, Resilient and Transition Cities: Emerging Approaches and Tools for A Climate-Sensitive Urban Development* (Elsevier).
- Gram-Hanssen, K., Heidenstrøm, N., Vittersø, G., Madsen, L. V., and Jacobsen, M. H. (2017). Selling and installing heat pumps: influencing household practices. *Building Research & Information* 45, 359–370.
- Gregg J S, Nyborg S, Hansen M, Schwanitz V J, Wierling A, Zeiss J P, Delvaux S, Saenz V, Polo-Alvarez L, Candelise C, Gilcrease W, Arrobbio O, Sciullo A, Padovan D, 2020,

“Collective Action and Social Innovation in the Energy Sector: A Mobilization Model Perspective” *Energies* 13(3) 651

Guy S, Shove E, 2013 *The sociology of energy, buildings and the environment: Constructing Knowledge, Designing Practice* (Routledge, London)

IPCC. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/> (accédé le 6 avril 2022).

Judson, E. P., Bell, S., Bulkeley, H., Powells, G., and Lyon, S. (2015). The co-construction of energy provision and everyday practice: integrating heat pumps in social housing in England. *Science & Technology Studies*.

Lamb, Z., Shi, L., Silva, S., and Spicer, J. (2022). Resident-Owned Resilience: Can Cooperative Land Ownership Enable Transformative Climate Adaptation for Manufactured Housing Communities? *Housing Policy Debate* 0, 1–23. doi:
[10.1080/10511482.2021.2013284](https://doi.org/10.1080/10511482.2021.2013284).

Lopez F, 2019 *Infrastructures énergétiques et territoires : L'ordre électrique* (Métis Presses)

Proulx, M. La géothermie partagée en milieu urbain au Québec : le parcours de cinq projets entre émergence, motivations et contraintes. Mémoire déposé pour évaluation pour la maîtrise en études urbaines, INRS, Centre Urbanisation Culture Société, Montréal.

Proulx, M. et Van Neste, S. L. 2022. Shared geothermal energy projects in Montreal: the importance of pre-existing collective action spaces. In *Local energy communities : practices, regulation, cooperation and decision support tools in fully electrified areas*. Routledge, p.49-66.

Raven, R., Reynolds, D., Lane, R., Lindsay, J., Kronsell, A., and Arunachalam, D. (2021). Households in sustainability transitions: a systematic review and new research avenues. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 40, 87–107. doi:
[10.1016/j.eist.2021.06.005](https://doi.org/10.1016/j.eist.2021.06.005).

Shove, E., Pantzar, M., and Watson, M. (2012). *The dynamics of social practice: everyday life and how it changes*. SAGE.

Stenberg, J. (2020). The zero option – tenant experiences from an experiment to renovate apartments without increasing rent. *Cogent Social Sciences* 6, 1848500. doi:
[10.1080/23311886.2020.1848500](https://doi.org/10.1080/23311886.2020.1848500).

Stenner, K., Frederiks, E. R., Hobman, E. V., and Cook, S. (2017). Willingness to participate in direct load control: The role of consumer distrust. *Applied Energy* 189, 76–88. doi:
[10.1016/j.apenergy.2016.10.099](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.099).

Strengers, Y. (2011). Beyond demand management: co-managing energy and water practices with Australian households. *Policy Studies* 32, 35–58. doi:
[10.1080/01442872.2010.526413](https://doi.org/10.1080/01442872.2010.526413).

Strengers, Y. (2013). Peak electricity demand and social practice theories: reframing the role of change agents in the energy sector. *The Global Challenge of Encouraging Sustainable Living*, 18–42.

Van Neste, S.L., Larrue, C. et Melé, P. *Transitions, expérimentations, milieux de vie*. Manuscript soumis aux Presses de l'Université de Montréal, en évaluation.

Widerberg, O., and Stripple, J. (2016). The expanding field of cooperative initiatives for decarbonization: a review of five databases. *WIREs Climate Change* 7, 486–500. doi: [10.1002/wcc.396](https://doi.org/10.1002/wcc.396).

Winther, T., and Wilhite, H. (2015). An analysis of the household energy rebound effect from a practice perspective: spatial and temporal dimensions. *Energy Efficiency* 8, 595–607.

Décarbonation des bâtiments résidentiels de Montréal – Cas d'étude d'un 5-plex

Coopérative de solidarité Celsius

Par Alexandre Courchesne

Introduction

La ville de Montréal fixe 2040 comme objectif pour décarboner les bâtiments résidentiels de Montréal. Ceci implique donc que le chauffage au gaz naturel et au mazout devra être remplacé par des alternatives de sources électriques ou de biomasse. Notons que cet objectif entre partiellement en conflit avec l'approche préconisée par Hydro-Québec, qui réalise un partenariat avec Énergir pour équiper les demeures de système biénergie.

Le milieu bâti comporte certains défis d'intégration car le changement de technologie de chauffage peut parfois nécessiter une analyse technique plus poussée qu'un simple remplacement, surtout avec l'utilisation de thermopompes. L'intégration en ville comporte aussi des défis liés aux bruits, aux îlots de chaleur et à l'esthétique. De plus, Hydro-Québec fait face à des demandes de pointe élevées qui la force à importer de l'électricité ou à produire à partir de sa centrale au gaz naturel. Ces multiples contraintes rendent la décarbonation complexe et l'analyse des différentes avenues très pertinentes.

Il y a plusieurs combinaisons techniques possibles pour aller vers la décarbonation, avec des coûts différents ainsi que des bénéfices/désavantages différents. Notons que la quasi-totalité des bâtiments utilisant du combustible pour le chauffage possèdent un système de chauffage centralisé. Dans les plex de Montréal, ce système est le plus souvent à l'eau chaude, mais peut aussi être un système à l'air pulsé. Le but de ce rapport est de mieux comprendre les différentes options et de comparer celles-ci sur des critères économiques, techniques et autres enjeux variés comme la demande électrique de pointe.

Afin de comparer les différentes alternatives, un cas réel tiré du projet Vitrine de la coopérative Celsius est utilisé. Pour ce projet, la coopérative Celsius a implanté de la géothermie dans un 5-plex de Rosemont-La Petite-Patrie. L'avantage de ce projet est qu'une analyse énergétique complète a été réalisée avant et après l'installation de la géothermie, ce qui permettra de modéliser précisément l'effet des différentes alternatives sur la performance du système de chauffage de l'hiver 2021-2022, en incluant l'effet des différentes technologies sur les périodes de pointe déclarées par Hydro-Québec lors de cet hiver.

Pour la réalisation de cette analyse, une présentation du projet Vitrine ainsi que les données recueillies sont présentées. Ensuite, des scénarios de comparaison sont proposés, et finalement, les résultats sont analysés.

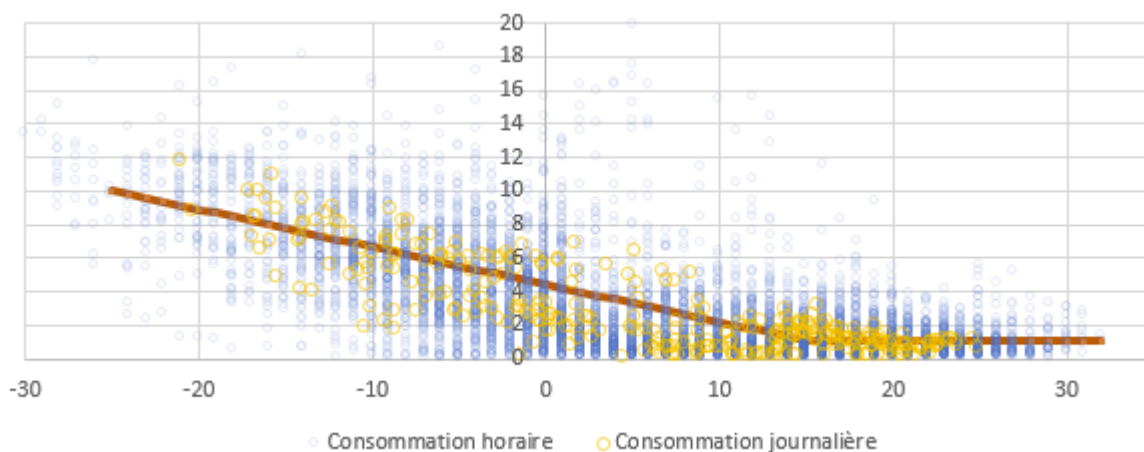
Projet Vitrine – Scénario de base

Le projet Vitrine du projet Celsius a été implanté sur 2 plex voisins de l'arrondissement Rosemont - La Petite-Patrie (RPP), soit un 5-plex et un duplex. Le duplex du projet Vitrine n'avait pas accès aux données énergétiques précédant l'installation de la géothermie et a procédé à d'importants travaux d'isolation. Ainsi, pour fin d'analyse, seulement le 5plex est considéré car nous avons pu y obtenir des données énergétiques plus complètes et la géothermie est le seul élément ayant changé la performance énergétique du bâtiment.

Le 5-plex détaché, de 30 pieds de façade par 45 pieds de profond, était chauffé à l'aide d'une fournaise électrique et de radiateurs à l'eau chaude au rez-de-chaussée (RDC) tandis que les 4 logements étaient chauffés avec des plinthes électriques (2N, 2S, 3N, 3S).

Afin de déterminer la consommation liée au chauffage, une analyse de la consommation électrique horaire des différentes adresses permet de calculer la puissance de chaleur requise pour chauffer l'appartement en fonction de la température extérieure. La théorie veut qu'il soit possible de modéliser le bâtiment comme ayant une consommation de base (liée à l'éclairage, électroménager, etc.) constante et qu'à partir d'une température extérieure donnée, la consommation augmente linéairement avec la température extérieure. Ainsi, il est possible de prédire les besoins en chauffage d'un bâtiment en fonction de la température extérieure.

Par exemple, la figure suivante présente la consommation électrique sur 1 année complète du RDC (juin 2020-juin 2021), avant l'installation de la géothermie. Avec une régression mathématique, on peut calculer que cet appartement nécessite 210 watt/°C sous 18°C, soit la différence entre la température extérieure et 18°C. Cet exercice a été réalisé pour le RDC et 3 des 4 appartements avant l'installation et 4 appartements après l'installation.



La consommation en chauffage du 5-plex est explicitée dans le tableau suivant. La consommation de l'appartement non disponible est déduite à partir des données après géothermie. Ces paramètres représentent le scénario original (O). Les données climatiques de l'hiver 21-22 à Montréal indiquent un hiver froid de 3905 degré-jour. Cette donnée, couplée aux analyses énergétiques, nous permet de calculer l'énergie de chauffage annuelle du 5plex.

Tableau 1: Besoin en chauffage des 5 logements

	$W_{el}/^{\circ}C$
RDC	210
2eS	68

2eN	90
3eN	90
3eS	105 (estimé)
Total chauffage	563
kWh de chauffage Hiver-21-22	52 812

Avec ces données, il est possible de modéliser le scénario (OGN) hypothétique où le RDC était chauffé à 100% au gaz naturel. En faisant l'hypothèse que la fournaise au gaz a une efficacité de 85%, nous avons une consommation annuelle de 23159 kWh de gaz (2200 m³) pour l'hiver 21-22.

Événement de pointe

L'hiver 2021-2022 a été un hiver très froid cumulant 3905 degré-jour entre le 1^{er} octobre et le 30 avril. Plusieurs événements de pointe (92h total) ont eu lieu le matin de 6h à 9h et le soir, de 16h à 20h. Les événements déclarés avec l'option du tarif D, sont le 3, 4, 8, 10 (pm), 11, 12, 14 (pm), 15 (am), 16 (am), 17 (am), 19 (am), 21, 22 (am), 24 (am), 26 (am), 27 (am) Janvier et le 1 (am), 6 (am), 14, 15 (am), 16 (am) et 25 (am) février.

Pour le scénario O, le chauffage durant les 92 heures de pointe a consommé 1780 kWh d'électricité pour une moyenne de 19,35 kW.

La modélisation permettra de déterminer la puissance consommée lors de ces événements de pointe.

Scénarios à l'étude

Géothermie

Deux scénarios de thermopompes géothermiques sont à l'étude. Le premier scénario (G1) consiste au cas réel installé dans le cadre du projet Vitrine, soit une thermopompe à compresseur variable de puissance nominale de 5 tonnes (17,6 kW). Le rez-de-chaussée est alimenté par des radiateurs à eau chaude et un système de ventilation, ce qui permet de fournir 100% de la demande en chauffage par la géothermie. Les logements sont quant à eux alimentés par une tête murale hydronique de 3,5 kW de puissance, installée à l'extrémité du logement. Ainsi, nous estimons que seulement 45% du logement est chauffé par la géothermie et l'autre 55% utilise les plinthes déjà installées.

Le 2e scénario (G2) est similaire au premier et correspond à l'installation d'une thermopompe de puissance nominale de 3 tonnes (10.5 kW) pour l'appartement du RDC seulement.

La consommation d'énergie des bâtiments après installation a été mesurée directement au compteur d'Hydro-Québec en appliquant la même méthode de régression mathématique qu'illustrée précédemment. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant. Notez que la thermopompe ainsi que les appareils de distribution de chaleur sont tous reliés au compteur du RDC d'où la plus faible réduction pour ce logement, malgré le fait que 100% du chauffage ait été fourni par la géothermie. Considérant que la géothermie chauffait seulement 45% des logements, nous arrivons à un coefficient de performance de la saison de chauffage (COP_{sc}) de 3,1 pour la thermopompe. Les paramètres de chauffage du scénario G2 sont déduits à partir des performances du scénario G1.

Tableau 2: Besoin électrique du chauffage des scénarios géothermiques

W_{el}/oC	O	G1	G2
RDC	210	134	67
2eS	68	23	68
2eN	90	42	90
3eN	90	53	90
3eS	105	62	105
Total 5plex	541	314	421
Énergie consommée pour la chauffe (MWh)	52,81	29,43	39,48

Le coût du projet est détaillé dans le tableau suivant. Le coût du scénario G2 est déduit à partir des coûts du scénario G1.

Table 3: Données économiques des scénarios géothermiques

Coût d'implantation	G1	G2
Forage	15,058	9,035
Pompe	2672	530
Plomberie diverse	3000	1000
Installation	6000	3600
Thermopompe	12,960	10,000
Contrôle	829	829
Tête hydronique	12,000	

Appareil ventilation	2041	2041
Distribution	4400	
Valve	967	200
Somme	\$ 59,929	\$ 27,235

Pour ce qui est des subventions, le programme Réno-Climat offre 5365\$ par thermopompe installée et le programme fédéral (Maisons plus vertes) offre quant à lui 5000\$ pour l'installation d'une thermopompe géothermique, mais il n'est pas possible de cumuler les 2 subventions. Les subventions sont donc équivalentes pour les 2 scénarios. Notons que des subventions supplémentaires peuvent s'appliquer si le système d'origine fonctionne au combustible fossile.

Pour les 92 heures de pointes, les scénarios G1 et G2 consomment 992 et 1259 kWh pour une moyenne de 10,8 et 13,7 kW, respectivement.

Aérothermie

Trois scénarios aérothermiques sont considérés:

- A1 correspond à une thermopompe aérothermique vers les conduites de ventilation de puissance nominale de 3 tonnes et l'installation d'un système de distribution d'air à l'intérieur du logement au RDC.
- A2 correspond à A1 plus l'installation de 4 thermopompes aérothermiques biblocs, soit une dans chaque logement.
- A3 correspond à A1 plus l'installation d'un accumulateur thermique.

Pour maximiser l'efficacité énergétique, des thermopompes basse température sont choisies.

Pour la thermopompe du scénario A1, une thermopompe de 3 tonnes nominales est choisie (Mitsubishi modèle MXZ-SM36NAMHZ), réputée très performante en climat froid. De plus, les performances de l'appareil sont données jusqu'à des températures extérieures de -25°C. En utilisant les données du manufacturier, il est possible d'établir la capacité de production de chaleur en fonction de la température extérieure ainsi que l'électricité entrant dans le système. Ces paramètres tiennent compte d'un facteur de correction pour le dégivrage de l'échangeur de l'unité extérieure.

Pour le scénario A2, la thermopompe bibloc utilisée est la Fujitsu AOUG09LZAS1. Ce modèle est utilisé car il fonctionne à des températures très basses (-25°C) et des données techniques sont disponibles afin de modéliser sa capacité et sa performance pour ces températures. Le document technique ne fait pas mention de cycle de dégivrage.

Pour le scénario A3, un accumulateur thermique est ajouté au scénario A1. Un accumulateur thermique permet de produire de la chaleur avec un COP de 1 hors des heures de pointe, ce qui permet de couper l'alimentation électrique en chauffage lors de la pointe et de seulement utiliser l'énergie emmagasinée. L'accumulateur thermique ne permet

pas d'économie d'énergie; il accroît même la consommation par rapport au scénario A1 car la thermopompe, plus efficace, fonctionnera moins fréquemment.

Table 4: Besoin en électricité de chauffage des scénarios aérothermiques

W_{el}/oC	O	A1	A2	A3
RDC	210	74	74	78
2eS	68	68	52	68
2eN	90	90	69	90
3eN	90	90	69	90
3eS	105	105	80	105
total 5plex	563	427	343	431
Énergie consommée pour la chauffe (MWh)	52.81	40.04	32.16	40.41

Le coût des différents scénarios est basé sur des soumissions. Pour le scénario A1, l'installation d'une thermopompe centrale reliée à un système d'air pulsé est évaluée à 6000 \$ + 4000\$ de travaux de ferblanterie. Pour les bibloc, l'appareil installé est évalué à 5000 \$. L'accumulateur thermique quant à lui est estimé à 18 000 \$.

L'aide financière Réno-Climat pour les thermopompes est de 50\$ par millier de BTU de puissance à -8°C, donc 2178 \$ pour la thermopompe du RDC et 845 \$ pour chaque thermopompe des logements. La subvention fédérale pour Maisons plus vertes pourrait porter la subvention du RDC à 4000 \$. Les thermopompes bibloc ne sont toutefois pas admissibles à la subvention fédérale. Finalement, Hydro-Québec fournit 10 000 \$ de subvention pour l'accumulateur thermique.

Analyse

Le tableau suivant présente l'ensemble des données récoltées jusqu'à présent. Toutes ces données correspondent aux conditions de l'hiver 21-22. Le coût du kWh électrique est de 8,34 ¢/kWh, soit la moyenne entre les 2 tarifs résidentiels. Le coût du gaz naturel est de 68,964 ¢/m³.

	O	OGN	G1	G2	A1	A2	A3
Électricité consommée pour la chauffe (MWh)	52.8	33.1	29.4	39.5	40.0	32.2	40.4
Gaz consommé pour la chauffe RDC (kWh)	-	23.16					
Réduction de la consommation d'énergie par rapport à O	-	-6.6%	44%	25%	24%	39%	23%
Électricité consommée pour la chauffe en période de pointe (kWh)	1781	1117	993	1259	1415	1175	1117
Moyenne de la puissance lors de la pointe (kW)	19.4	12.1	10.8	13.7	15.4	12.8	12.1
Réduction de la puissance moyenne de pointe	-	37%	44%	29%	21%	34%	37%
Coût d'installation de l'option \$	-		\$ 59,929	\$ 27,235	\$ 10,000	\$ 30,000	\$ 28,000
Coût opex électricité	\$ 4,243	\$ 2,661	\$ 2,365	\$ 3,172	\$ 3,217	\$ 2,584	\$ 3,247
Coût opex électricité		\$ 1,518					
Économie annuelle			\$ 1,878	\$ 1,071	\$ 1,026	\$ 1,659	\$ 996

