

# INFRASTRUCTURE RESILIENTE ET CARBONEUTRE POUR MONTRÉAL, ARRONDISSEMENT VILLE-MARIE, SECTEUR DES FAUBOURGS

-

Étude d'opportunité

Document final

Jeudi 28 novembre 2019

## DOCUMENT FINAL

### Étude d'opportunité pour le développement d'un réseau thermique (« District energy sharing ») dans le secteur des Faubourgs, arrondissement Ville-Marie, Ville de Montréal

---

DATE: 28 novembre 2019  
NUMÉRO: VdeM20190704  
CLIENT: Ville de Montréal  
ADRESSE: Division de l'urbanisme, Direction de l'aménagement urbain et de la mobilité, Arrondissement Ville-Marie, 800 boul. De Maisonneuve Est, Montréal (Qc), H2L 4L8  
RESPONSABLE: Charlotte Horny  
TÉLÉPHONE: 514-872-3844  
COURRIEL: charlotte.horny@ville.montreal.qc.ca

---

Attention :

Cette étude est accompagnée de quatre rapports techniques annexés (Rapport d'Atis, Rapport de Polytechnique Montréal, Rapport de l'Université de Concordia, Rapport d'Écohabitation)

## Équipe de projet

Cette analyse effectuée est le fruit d'un travail collaboratif regroupant quatre organisations qu'Écohabitation a été recherché reconnaissant la grande synergie dans les missions et visions de chacune d'entre-elles. Cette « dream team » regroupait les expertises suivantes :



Mathieu Gillet, M.Sc., DESS Env., MUrb  
Denis Boyer, ing. B.Sc., M. Ing., RCx  
Emmanuel Cosgrove, directeur général

### Rôle et expertise

Mandataire principal  
Simulation énergétique  
Expertise énergétique



Robert Laroche, directeur général  
Gheorghe Mihalache, Ing.

### Rôle et expertise

Ingénierie industrielle et  
énergétique  
Évaluation des gisements  
Conception mécanique



Jean-Philippe, Ing., M.Sc.A., CEM, CMVP  
Karine Karzola, M. Ing, LEED AÉ

### Rôle et expertise

Modélisation économique et  
financière  
Gouvernance  
Évaluation performance



Michaël Kummert, professeur titulaire,  
Ing., M.Sc., Ph.D.  
Louis Leroy, Ing. , étudiant à la maîtrise  
Samuel Letellier-Duchesne, étudiant au  
doctorat

### Rôle et expertise

Simulation énergétique  
Ingénierie énergétique et  
mécanique

## Rappel du mandat

L'arrondissement Ville-Marie de la ville de Montréal, dans le cadre de l'élaboration du Plan Particulier d'Urbanisme (PPU) pour le secteur des Faubourgs, désire étudier l'opportunité d'implanter un réseau thermique dans un objectif principal de résilience et de carbo-neutralité urbaine.

L'organisme Écohabitation a été mandaté pour se faire avec le concours de ses partenaires Atis Technologie, Dunsky Expertise en Énergie et Polytechnique Montréal. Plus précisément, le mandat consiste à :

1. Identifier les sources d'énergies potentielles et technologies inhérentes, avec priorité pour les sources d'énergie récupérées ou renouvelables, et incluant un scénario considérant l'implantation d'un centre de données;
2. Dresser un bilan énergétique en continu sur une période annuelle (chauffage, climatisation, rejet) du parc immobilier projeté;
3. Établir les bénéfices et inconvénients, notamment en matière d'économie d'énergie et de coûts de l'implantation, d'un réseau thermique urbain par rapport à un système conventionnel;
4. Établir les possibilités de gouvernance pour la propriété et l'exploitation du réseau thermique urbain, ainsi qu'une revue de la réglementation provinciale et fédérale applicable pour chaque source d'énergie potentielle.

## Portée et limite du mandat

Une étude d'opportunité permet d'évaluer la pertinence de poursuivre ou non une idée/projet (« est-il opportun d'aller plus loin, oui ou non ? »). À cette fin, la présente étude a été élaborée sur la base de deux questions :

- 1- Un réseau thermique, en regard des objectifs de résilience et de carboneutralité, est-il opportun et pourquoi ?
- 2- Si oui, quel(s) genre(s) de réseau serait-il opportun de considérer et pourquoi ?

Le niveau de détail des analyses effectuées pour caractériser les gisements énergétiques et simuler les futurs besoins énergétiques dépendent de l'accessibilité et de la qualité des données. Les délais du mandat et le manque de nombreuses données ont donc limité certaines simulations et analyses qu'il aurait été pertinent de développer.

Cependant, l'expertise de l'équipe ainsi que les exemples canadiens de réseaux en opération et renseignés ont permis de rassembler des données suffisantes et d'évaluer les scénarios adéquats.

Cette étude offre donc un portrait aussi complet que possible des forces, faiblesses, opportunités et menaces qui entoure une solution de type réseau de chaleur pour le secteur à l'étude.

## Méthodologie

La méthodologie employée pour répondre au mandat dans les délais requis repose sur différentes stratégies et techniques.

En premier lieu, Ecohabitation s'est entouré de partenaires aux champs d'expertises techniques requis pour répondre rapidement aux différents éléments du mandat. Un processus de co-création a été choisi pour assurer la synergie des expertises présentes au sein de l'équipe. Une session de travail conjointe de type « co-design » pilotée par Ecohabitation et tenue le 25 septembre 2019 à Polytechnique Montréal aura permis de rapidement circonscrire les enjeux et défis spécifiques et d'ordre technique, et de les traduire en solutions.

En deuxième lieu, les facteurs de taille, de technologies et circonstanciels ont motivé le développement d'une étude par scénarios, tous ayant été analysé de manière quantitative et qualitative par rapport à un scénario de référence. Parmi les scénarios retenus présentant des avantages certains, aucun n'a été privilégié ou recommandé.

Ces scénarios développés ont été analysés pour étudier leur comportement sous l'angle de la carboneutralité (réduction des émissions de GES et de substance appauvrissant la couche d'ozone), de la résilience urbaine (besoins en climatisation, rejet thermique, résistance au choc et stress) et enfin sous l'angle de l'impact sur le réseau électrique avec la notion de demande de pointe (ou « d'effet de pointe électrique »). Ces trois objectifs ont été considérés comme les principaux à analyser à ce stade d'étude pour traduire l'opportunité ou non d'un réseau pour le secteur.

Par ailleurs, des synergies avec d'autres types d'infrastructures (galerie multiréseaux, chauffage des ouvrages de génie civil) ont été identifiées et sommairement analysées sous l'angle de l'opportunité, du génie urbain et du coût d'opportunité qu'elles peuvent représenter.

Enfin, les notions de coûts, de gouvernance et de modèle financier ont été renseignées par une revue de littérature et une veille de projets réalisés. Perçus comme des facteurs exogènes à ce niveau d'étude, ils devront être analysés en profondeur dans les études subséquentes.

L'étude se termine par un ensemble de recommandations visant à soutenir le mandataire pour préparer les prochaines étapes et conserver le momentum actuel.

## Acronymes

BAU :	Business as usual
CAPEX :	CAPital EXpenditures
CERIU :	Centre d'expertise et de recherche en infrastructures
CHP :	Cogénération (Combined Heat and Power)
COP :	Coefficient de performance
CSEM :	Commission des services électriques de Montréal
DEEU :	Direction de l'Épuration et des Eaux usées, Service de l'eau, Ville de Montréal
DRE :	Direction des réseaux d'eau
ECD :	Eau chaude domestique
ECS :	Eau chaude sanitaire
EEA :	Éclairage, Équipement et Appareils
EnR :	Énergies renouvelable
FCM :	Fédération canadienne des municipalités
FMV :	Fonds municipal vert
GES :	Gaz à effet de serre
GMR :	Galerie multiréseaux
HQ :	Hydro-Québec
MAMH :	Ministères des affaires municipales et de l'habitation
OPEX :	OPÉrationnal Expenditures
OGSL :	Observatoire du Grand Saint-Laurent
PAC :	Pompe à chaleur
PDO :	Potentiel de déplétion ozonique
PNUE :	Programme des Nations-Unies pour l'Environnement
PRG :	Potentiel de réchauffement global
STEP :	Station d'épuration des eaux usées
TEQ :	Transition Énergétique Québec
TRI :	Taux de rentabilité interne
VRT :	Valorisation des rejets thermiques

## Table des matières

1	Situation initiale.....	1
2	Définition et Revue des pratiques.....	3
2.1	Qu'est-ce qu'un réseau thermique ?.....	3
2.2	Revue des pratiques.....	7
3	Acquisition de données et bilan énergétique – 2 étapes.....	10
3.1	Évaluation des futurs besoins énergétiques (scénario de référence BAU).....	10
3.2	Identification et évaluation des gisements énergétiques.....	16
4	Types de réseaux opportuns et scénarios à envisager.....	25
4.1	Présentation des types de réseaux opportuns et hypothèses de fonctionnement.....	26
4.2	Résultats des simulations pour les scénarios envisagés.....	30
4.3	Interprétation et Analyse des résultats.....	31
5	Renseignements haut-niveaux d'ordre financier des scénarios et éléments influents.....	35
5.1	Variables générales de coûts.....	36
5.2	Estimations des coûts en équipements.....	38
5.3	Coûts d'opportunité.....	41
5.4	Sources de financement potentiel.....	42
6	Analyse des options de propriété, de gouvernance et du cadre réglementaire.....	46
6.1	Modèles et partenariats de réseaux urbains de chauffage et climatisation.....	47
6.2	Modèles financiers.....	57
6.3	Conclusions.....	60
7	Génie urbain & Synergies potentielles.....	62
7.1	Galerie multiréseaux.....	62
7.2	Trottoirs et chaussées chauffants.....	65
	Conclusions et Principales recommandations.....	67
	Bibliographie.....	72
	Annexes.....	73
	Annexe 1 : Carte du secteur à l'étude.....	74
	Annexe 1 bis : Personnes contacts opportunes.....	75
	Annexe 2 : Pourquoi un réseau thermique ? Avantages et objectifs visés - Généralités.....	76
	Annexe 3 : Évolution des réseaux thermiques.....	78
	Annexe 4 : Carte du réseau d'égouts dans le secteur à l'étude.....	79
	Annexe 5 : Composition du réseau d'égout de Montréal.....	80

Annexe 6 : Schémas de sous-stations .....	81
Annexe 7 : Schéma de principe d'une sous-station dans un réseau à boucle d'eau mitigée (5 <sup>e</sup> G).....	83
Annexe 8 : Données sur les coûts d'équipements .....	84
Annexe 9 : Détails de l'entente BEI entre le gouvernement fédéral et provincial .....	86
Annexe 10 : Visualisation d'une galerie multiréseaux.....	87
Annexe 11 : Résultats simulation d'opportunité pour une galerie multiréseaux (Université Concordia).....	88

## Liste des figures

Figure 1: Périmètre de l'étude.....	1
Figure 2 : Vision d'ensemble des futurs développement.....	2
Figure 3: Réseau thermique (Ville de Bourges, Fr) .....	3
Figure 4: Schéma simplifié d'un réseau .....	4
Figure 5 : Scénario de référence / performance annuelle .....	13
Figure 6: Scénario de référence / demande pointe hivernale et estivale.....	14
Figure 7 : Schéma de principe d'une récupération de chaleur .....	17
Figure 8 : Coupes de différentes techniques de récupération de chaleur .....	23
Figure 9 : Échangeur de chaleur à plaques .....	23
Figure 10 : Illustration de la taille des pompes à chaleur et de la salle mécanique.....	24
Figure 12: Représentation visuelle d'un réseau centralisé .....	26
Figure 13: Représentation visuelle d'un réseau décentralisé .....	29
Figure 14: Émissions de GES à l'échelle du site pour les différents scénarios.....	32
Figure 20 : Répartition des CAPEX selon les éléments de l'infrastructure .....	38
Figure 15 : Modèles de gouvernance et économique .....	48
Figure 16 : Coupe type d'une GMR.....	62
Figure 17 : Bénéfices accessoires.....	63
Figure 19 : Réseau de tubulure pour trottoir.....	65

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Besoins en chaleur et rejets thermiques du nouveau bâti .....	11
Tableau 2 : Consommation, demande de pointe et émission du nouveau bâti.....	12
Tableau 3 : Évaluation des puissances thermiques exploitables (effluents, fleuve) .....	21
Tableau 4 : Consommation, demande de pointe, et émission de GES des différents scénarios .....	31



## 1 Situation initiale

Le périmètre à l'étude (en bleu) est appelé le secteur sud du territoire des Faubourgs (en rouge) et est délimité par :

- Rue Atateken à l'ouest (anciennement Amherst)
- Bd. René Lévesque et rue Ste-Catherine au nord
- Rue Fullum à l'est
- Fleuve au sud

Le territoire des Faubourgs est actuellement engagé dans un processus de révision urbanistique via l'élaboration d'un Plan Particulier d'Urbanisme (PPU) qui est perçu comme une opportunité pour orienter et ancrer les futurs développements du secteur dans la durabilité et la résilience.

La ville de Montréal est, à ce fait, engagée dans une voie de transition énergétique et écologique en visant une réduction massive des GES (cible 2030 et 2050), et dans une voie d'adaptation au changement climatique en visant une plus grande résilience des réseaux urbains (énergie, eau, parc, etc.).

Le périmètre à l'étude est opportun pour considérer une implantation d'infrastructures permettant de répondre à ces enjeux car il est envisagé une requalification quasi complète des lieux dans le but de créer des milieux de vie à forte densité et mixité. Cette requalification se concrétisera par une réfection des réseaux techniques de type égout et aqueduc, de la trame viaire, et par des investissements immobiliers massifs rendant le terrain fertile à une configuration collective du système énergétique pour le secteur.



Figure 1: Périmètre de l'étude

### Aménités du secteur :

Nous avons identifié différentes aménités offertes par le secteur à l'étude qui ont orientées les choix et les analyses effectuées. La figure 2 ci-dessous les relate :

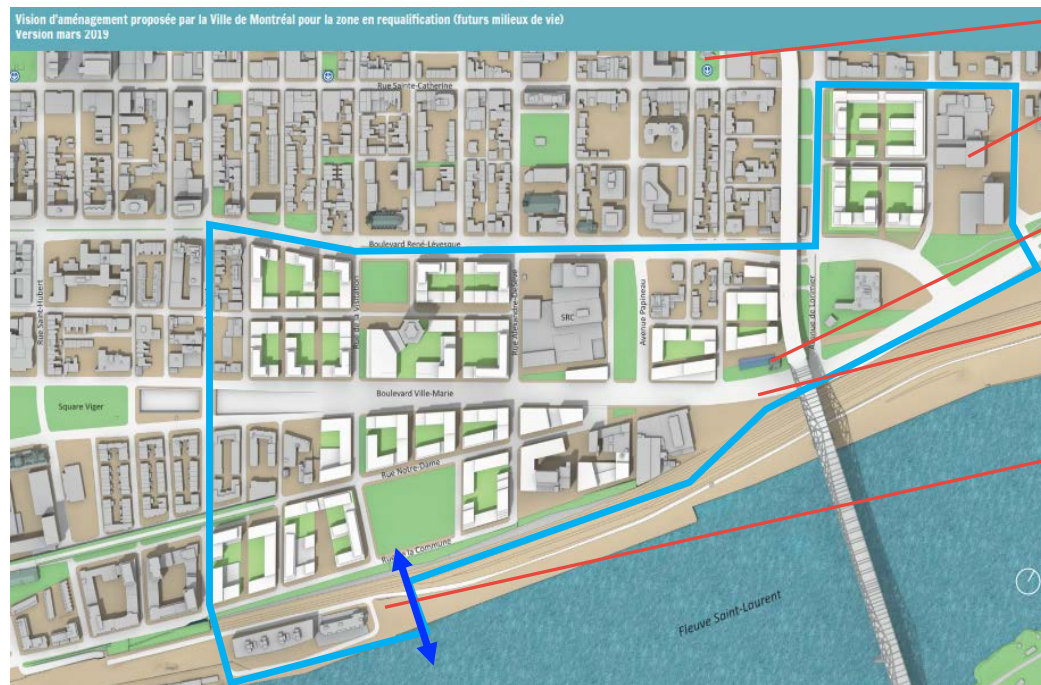


Figure 2 : Vision d'ensemble des futurs développement (Crédit : PPU, Ville de Montréal)

- Station de métro Papineau
- Pôle emploi gouvernemental majeur à venir
- Station Craig + zone de connexion des collecteurs d'égout Viger et Notre-Dame et de l'intercepteur sud
- Réseau de collecteurs d'égout (voir annexe 4 pour détails)
- Connexion suspectée au fleuve par un ou plusieurs tuyaux d'arrivée et de rejet d'eau (entreprise Molson)
- Potentiel de développement (zone bleue) :
  - $\approx 10\ 000$  logements
  - $\approx 320\ 000\ m^2$  bureaux, commerces, équipements collectifs
  - Hauteurs situées entre 30 et 80 m

## 2 Définition et Revue des pratiques

### 2.1 Qu'est-ce qu'un réseau thermique ?

Un réseau thermique (RT), encore appelé réseau urbain de chaleur et de froid, ou par défaut réseau de chaleur, est une installation de production et de distribution d'énergie thermique (chaud et froid) alimentant plusieurs clients. La chaleur est produite via une ou plusieurs chaufferie(s) et est transportée via un système de canalisations qui constitue le réseau en tant que tel. La figure 3 montre un exemple d'implantation.

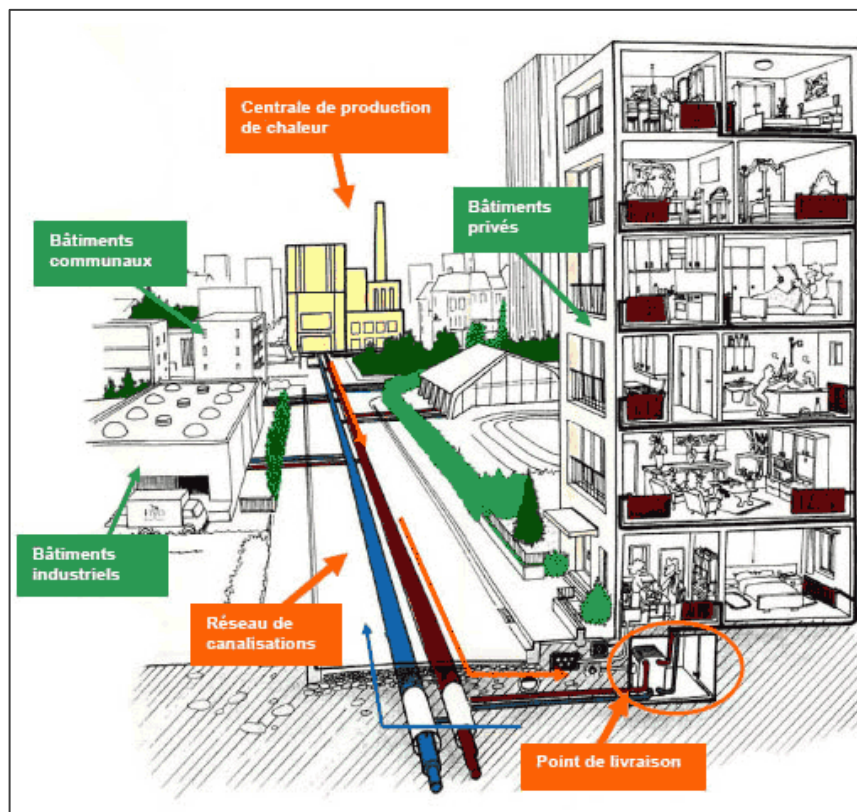


Figure 3: Réseau thermique (Ville de Bourges, Fr)

L'énergie transportée sert ainsi au chauffage des bâtiments clients du réseau mais aussi à l'eau chaude domestique (ou eau chaude sanitaire). Dépendamment du type de réseau installé, le réseau peut aussi alimenter en froid à des fins de climatisation.

Les réseaux peuvent également alimenter des besoins commerciaux mais aussi industriels créant ainsi l'opportunité de valoriser les rejets thermiques d'origines industrielle et commerciale.

Un réseau, tel qu'illustré à la figure 4, se décrit selon trois segments :

1- La centrale thermique (aussi appelée la chaufferie ou la centrale de production)

En fonction du ou des systèmes installés, il peut y avoir une ou plusieurs unités de production de chaleur pour un même réseau (ce que nous expliciterons ci-dessous).

Il y a beaucoup de sources d'énergie pour alimenter la ou les centrales. Nous les classons en trois catégories :

- Les énergies classiques : gaz naturel, charbon, diésel, fioul, les cogénérations (chaleur et électricité), les tri-génération (électricité, chaleur, froid combinés)
- Les énergies renouvelables (EnR) : solaire, biomasse, géothermie, hydrothermie, aérothermie, etc.
- Les rejets thermiques (ou énergies fatales) : biogaz issu de biométhanisation, chaleur des incinérateurs, rejets industriels, effluents liquides de type égouts, chaleur issue des centres de données.

## 2- Le réseau (ou les canalisations de transport et de distribution)

C'est la partie enterrée du chauffage urbain. Le réseau souterrain transporte un liquide caloporteur (de l'eau chaude ou de la vapeur, les températures allant de 180 °C pour les premiers réseaux à 25-30 °C aujourd'hui) vers le client qui renvoie en retour l'eau refroidie vers la centrale qui la réchauffe. Il s'agit donc d'une boucle fermée.

Il y a deux segments dans le réseau de distribution :

- Le réseau primaire qui est la partie du réseau transportant la chaleur de la centrale jusqu'aux points de livraison aux bâtiments
- Le réseau secondaire qui est la partie interne aux bâtiments (transport de la chaleur du point de livraison jusqu'aux logements (normalement de la responsabilité du propriétaire du bâtiment)).

## 3- Les sous-stations (points de livraison, annexe 5)

Les sous-stations sont les interfaces entre le réseau primaire et secondaire (bâtiment). Ils permettent, au-delà de transférer la chaleur, d'adapter le débit et la température aux besoins des utilisateurs et aussi, de comptabiliser la chaleur fournie, permettant la facturation. Les sous-stations sont donc névralgiques et font souvent l'objet d'un contrôle (réglementation) par les pouvoirs publics afin d'assurer une synergie opérationnelle entre leurs équipements et le réseau primaire.

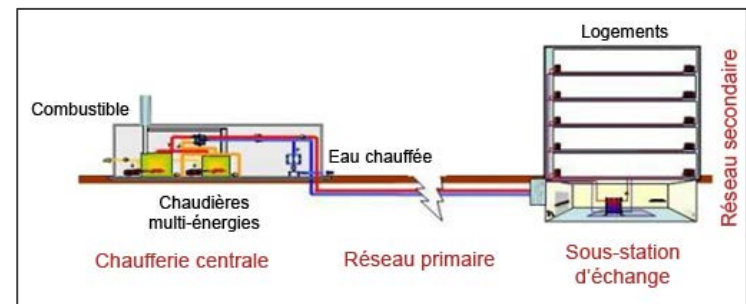


Figure 4: Schéma simplifié d'un réseau (Crédit : Dalkia)

Le réseau thermique est donc un système de chauffage à l'échelle urbaine par opposition au chauffage à l'échelle décentralisée des bâtiments où la chaleur est produite au niveau ou à proximité immédiate du bâtiment.

### 2.1.1 Avantages potentiellement offerts par un réseau de chaleur

Le type et les éléments de conception du réseau thermique dépendront du ou des objectifs désirés et fixés en amont par la municipalité ainsi que de la stratégie long terme nécessaire à adopter pour maximiser, rentabiliser et viabiliser l'infrastructure.

La littérature est explicite sur le sujet. Les réseaux thermiques offrent de multiples avantages qui peuvent et doivent servir des objectifs à atteindre. Nous énumérons ici les principaux avantages classiquement cités :

- Réduction des émissions de GES et recherche d'une carboneutralité où sont considérées :
  - Production d'énergies renouvelables ou utilisation d'énergie primaire déjà décarbonée (hydroélectricité);
  - Valorisation de rejets thermiques qui remplace en partie ou en totalité les besoins énergétiques autrement alimentés par des énergies fossiles (gaz pour les chaudières);
  - Baisse des consommations énergétiques primaires atteintes grâce aux mesures de conservation et d'efficacité énergétique sur les bâtiments « clients » du réseau et par les effets de mutualisation;
  - Diminution drastique des besoins en frigorigène utilisé pour la climatisation (fort PRG et PDO<sup>1</sup>).
- Amélioration de la qualité de l'air (intérieur et extérieur) où sont considérées :
  - Réduction de l'utilisation des énergies fossiles;
  - Lutte aux îlots de chaleur par la valorisation des rejets thermiques;
  - Plus grande efficacité dans les bâtiments pouvant générer une meilleure qualité de l'air intérieur
- Grande efficacité énergétique où sont considérés :
  - Niveau minimal d'efficacité énergétique des bâtiments « clients » à atteindre pour assurer viabilité et rentabilité des réseaux (l'investissement en efficacité énergétique devient prépondérant);
  - Valorisation des rejets thermiques (mesure d'efficacité énergétique);
  - Synergie entre les diverses sources de production et de consommation de chaleur.

---

<sup>1</sup> [www.lapresse.ca/actualites/environnement/201907/25/01-5235058-des-tuyaux-deau-glacee-sous-les-villes-alternative-a-la-climatisation.php](http://www.lapresse.ca/actualites/environnement/201907/25/01-5235058-des-tuyaux-deau-glacee-sous-les-villes-alternative-a-la-climatisation.php)

- Utilisation de ressources énergétiques renouvelables et locales où sont considérées :
  - Récupération d'énergie (valorisation des rejets thermiques)
  - Aérothermie, hydrothermie fluviale
  - Énergies renouvelables (solaire, géothermie, etc.)
- Résilience, génie urbain et adaptation aux changements climatiques où sont considérés :
  - Résistance aux chocs et aux perturbations vécus par les réseaux énergétiques principaux (sécurité énergétique, stabilité des réseaux principaux qui sont « secondés » dans leurs tâches)
  - Réduction de la dépendance aux énergies fossiles
  - Évolution du bouquet énergétique du quartier sans intervention dans les bâtiments ni les rues
  - Opportunités et synergies (chauffage des trottoirs et des chaussées, galerie multiréseaux)
  - Instrument de lutte contre la pointe électrique (meilleure stabilité du réseau de distribution)
- Création d'une économie verte, modernisation des infrastructures urbaines où sont considérés :
  - Lutte contre la pointe évite des investissements massifs en infrastructures de puissance
  - Un réseau est évolutif à deux niveaux :
    - D'autres sources d'énergies renouvelables peuvent être greffées au réseau à mesure des évolutions technologiques (réseau dynamique)
    - Le réseau peut s'agrandir de manière organique au fur et à mesure des futurs développements
  - Création d'emploi à forte valeur ajoutée (ingénierie, gestion, finance)
  - Création de richesse (revenus sur la vente d'énergie, revenus de taxes locales, etc.) Le rendement financier derrière la création de richesse sera impacté par les contraintes apposées au projet.
- Tarification avantageuse (ce qui aura un impact sur la rentabilité de l'infrastructure) où sont considérées :
  - Lutte contre une précarité énergétique;
  - Attractivité ciblée sur le territoire desservi
- Avantages connexes et subsidiaires où peuvent être considérés :
  - Moins d'entretien pour les gestionnaires d'immeubles
  - Libération d'espaces dans les bâtiments (salles mécaniques, toit)

À la lecture des enjeux exprimés et vécus par les parties prenantes du système énergétique québécois, de par la disponibilité des données, et les détails mentionnés dans le mandat, nous avons convenus qu'un potentiel réseau thermique dans le secteur à l'étude devrait répondre à minima à trois objectifs prioritaires que sont :

- La carboneutralité afin de se départir des énergies fossiles émettrices de GES
- La résilience face aux changements climatiques et ses effets
- La diminution des effets de pointe sur le réseau électrique amenés à croître dans un scénario d'électrification

Ces objectifs auront un impact sur la conception du réseau et comment il est opéré car ils affecteront les choix technologiques, le dimensionnement des équipements, l'extension potentielle du réseau, son modèle opératoire, etc.

Des avantages recherchés ou des objectifs visés comme des rendements financiers prolifiques, une tarification énergétique avantageuse et une rentabilité à moyen terme de l'infrastructure sont très certainement à exclure comme objectifs en regard des tarifs énergétiques pratiqués actuellement au Québec.

Par contre, il nous apparaît évident que la tarification énergétique va être révisée dans le très court terme avec l'implantation d'une mesure de tarification à la puissance afin de lutter contre « les effets de pointe » (appel de puissance) très dommageables pour le réseau de distribution d'Hydro-Québec. Il en est de même avec de futures et très probables mesures coercitives visant à atteindre la carboneutralité dans le secteur du bâti dans un horizon de 20-30 ans. **Ces deux facteurs contraignants pourraient alors contribuer grandement à la justification d'un réseau thermique auprès des promoteurs et gestionnaires de bâtiments.**

## 2.2 Revue des pratiques

### 2.2.1 Les réseaux thermiques dans le monde

L'Europe compte environ 4 500 réseaux thermiques alimentant près de 100 millions de personnes dans 32 pays ce qui représente près de 10% du marché du chauffage. À l'échelle mondiale, on parle de plus de 80 000 réseaux thermiques assurant près de 3 293 TWh de besoins utiles en 2016. Il est question de plus de 600 000 km de

canalisation dont la majorité sont pour des réseaux de 1<sup>ère</sup> ou 2<sup>e</sup> génération fonctionnant aux énergies fossiles (fioul, gaz), ne répondant plus aux nouveaux standards d'efficacité climatique<sup>2</sup>.

On retrouve principalement les réseaux thermiques dans les centres urbains mais une tendance à la diminution de leur taille est observée, en particulier grâce à l'essor des énergies renouvelables et du déblocage de fonds nationaux en guise de stratégie de transition énergétique et de lutte aux changements climatiques.

Au Canada, seulement 1,3% de la surface bâtie du pays est couverte par un réseau et ce, principalement à Vancouver, Toronto, Ottawa et Montréal. Montréal dispose du plus ancien et plus gros réseau Nord-Américain (ECCU, anciennement CCUM). Un projet de boucle thermique est en cours de conception pour le nouvel écoquartier Angus Montréal. Comparé au ECCU, cette boucle serait plus proche d'une 3<sup>e</sup> génération, mais utilise encore une énergie fossile (gaz naturel) en intrant pour couvrir les besoins en situation de pointe.

Les réseaux de froid sont en pleine effervescence à l'échelle mondiale afin de couvrir les besoins grandissant en climatisation. Ces besoins remplis de manière décentralisée (par bâtiment) ont un impact considérable sur les réseaux électriques et sur le climat du fait de l'utilisation des liquides frigorigènes ayant un gros impact climatique (PRG<sup>3</sup>), ce qui est l'inverse dans le cas d'une approche centralisée.

Le choix d'implanter des réseaux thermiques se fait pour des raisons spécifiques et stratégiques (précarité, stabilité du réseau, pollution, accès à l'énergie, etc.) à chaque territoire. Le PNUE ([3]) mentionne que **les réseaux urbains chaud/froid « sont les principaux leviers pour engager une transition énergétique à l'échelle des villes »**. Les réseaux aujourd'hui développés sont à cet effet principalement orientés vers les énergies renouvelables.

## 2.2.2 Évolution des réseaux et des technologies

L'évolution des pratiques et des technologies, surtout en matière de production d'EnR et de récupération de chaleur, permettent une catégorisation simple des types de réseaux que nous pouvons rencontrer (voir annexe 3).

---

<sup>2</sup> [4]-ADEME 2019 ; CEREMA

<sup>3</sup> PRG : Potentiel de réchauffement global (souvent exprimé en tonne équivalent pétrole ou carbone).



Les principales technologies de production énergétique dans les centrales restent liées aux énergies fossiles (90%) mais la proportion d'EnR est en forte croissance. Les autres sources retrouvées sont la valorisation de la chaleur issue d'incinérateur ou de l'industrie, l'énergie solaire thermique, l'énergie géothermique, et les biocombustibles.

L'évolution des réseaux dans le temps se traduit par :

- Une efficacité énergétique des « têtes de réseaux » (des clients) qui augmente nettement traduisant une gestion accrue de la demande (conservation, efficacité, contrôle).
- Une nette diminution des températures du fluide caloporteur (souvent de l'eau) permettant de fortes économies en coût d'implantation (tuyaux moins isolés, moins d'attention sur les pertes énergétiques).
- Une multiplication des sources énergétiques pour alimenter la ou les centrales thermiques.

Cette évolution se traduit par des risques opérationnels qui diminuent (en particulier lors du passage de la vapeur à l'eau chaude), par une nette diminution des pertes réseaux, par une optimisation des coûts de distribution, et par une nette diminution des coûts de construction (UNEP, 2015 [3] ; ADEME 2019 [4]).

La baisse des températures du fluide caloporteur permet de valoriser des sources d'énergie de type chaleur fatale (ou rejets thermiques) pouvant parfois être de moins grande qualité et surtout d'intégrer ces nombreuses nouvelles sources de production d'énergie de plus basse qualité (aérothermie, géo/hydrothermie, solaire thermique).

Pour les fins du présent rapport et face à une littérature encore ambiguë pour différencier les 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> génération, nous poursuivrons en distinguant :

- Les réseaux de 4<sup>e</sup> génération (4<sup>e</sup> G) ou réseau centralisé : réseaux avec une boucle d'eau chaude et d'eau froide (4 tuyaux) — température du caloporteur située entre 50 et 80 °C (boucle chaude), 4 et 8 °C (boucle froide).
- Les réseaux 5<sup>e</sup> génération (5<sup>e</sup> G) ou réseau décentralisé : réseaux avec une boucle d'eau dite mitigée (ou mélangée) (2 tuyaux) — température du caloporteur située entre 5 et 40 °C.

### 3 Acquisition de données et bilan énergétique – 2 étapes

Nous présentons dans cette section deux étapes fondamentales à l'analyse, à savoir :

- I. l'évaluation des besoins (la future demande) qui nous permettra d'élaborer le scénario de référence
- II. l'évaluation des gisements énergétiques potentiels et opportuns pour alimenter le réseau

De cette manière, nous serons à même de regarder l'opportunité d'implanter un réseau thermique afin de corrélérer de manière judicieuse et désirée l'offre et la demande en vue d'atteindre les objectifs escomptés précisés au §2.1.1.

#### 3.1 Évaluation des futurs besoins énergétiques (scénario de référence *Business As Usual - BAU*)

Nous présentons ici l'évaluation des besoins énergétiques des futurs bâtiments qui seront développés dans le secteur. Cette évaluation est fonction des données fournies par la ville de Montréal générées dans le cadre du PPU (COS, hauteur, mixités). Elle permet de générer un profil des besoins en chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire – ECS ou ECD) et en froid (climatisation) annualisé qui servira de scénario de référence (BAU). Sur la base de ce scénario BAU, nous serons alors à même d'analyser les effets des scénarios d'implantation d'un réseau thermique (section 4).

##### 3.1.1 Méthodologie

La simulation énergétique des bâtiments repose sur un très grand nombre de paramètres, depuis la géométrie des bâtiments ou la résistance thermique des composantes de l'enveloppe jusqu'au comportement des occupants et aux détails de régulation et de performance des systèmes de chauffage et de climatisation. Dans le cas de bâtiments futurs, ces paramètres reposent sur des hypothèses informées par le cadre réglementaire proposé par l'arrondissement (superficies, hauteurs) et par l'expérience acquise lors de projets similaires récents.

Les données permettant les simulations des besoins énergétiques sont suffisantes mais nécessiteraient un niveau de détail supplémentaire (affectation des mixités et répartition plus précises des usages par bâtiments de la zone étudiée) afin de peaufiner les simulations. À cet effet, une simulation a été effectuée par Polytechnique Montréal en utilisant une méthodologie de modélisation énergétique urbaine des bâtiments (UBEM – Urban Building Energy Modeling).

Cette simulation permet de définir des paramètres précis pour spécifier un scénario de référence. La méthodologie de la simulation est disponible dans le rapport annexé de Polytechnique Montréal. Nous ne donnons ici que les résultats

### 3.1.2 Validation des simulations sur l'évaluation des besoins totaux

Les besoins en chaleur (chaud et froid) et rejets thermiques sont présentés dans le tableau 1. Les besoins en chaud font référence aux besoins de chauffage des espaces et d'eau chaude domestique (ECD) des bâtiments, tandis que ceux en froid sont leurs besoins de climatisation et de réfrigération. Les rejets thermiques sont les rejets de chaleur vers l'extérieur, l'air ambiant, qui participent aux effets d'îlot de chaleur et sont associés aux besoins en climatisation des bâtiments. Les quantités exprimées dans le tableau sont des échanges de chaleur, pas des demandes électriques.

La pointe hivernale correspond au moment de la demande maximale de chaud du BAU pendant la période d'octobre à avril (inclus), et la pointe estivale correspond au moment de la demande maximale en climatisation pendant la période de mai à septembre (inclus). La demande annuelle est la somme des contributions énergétiques.

Tableau 1 : Besoins en chaleur et rejets thermiques du nouveau bâti

Besoins en chaud			Besoins en froid			Rejets thermiques		
Demande annuelle (GWh)	Pointe été (MW)	Pointe hiver (MW)	Demande annuelle (GWh)	Pointe été (MW)	Pointe hiver (MW)	Demande annuelle (GWh)	Pointe été (MW)	Pointe hiver (MW)
76,2	14,0	33,8	18,1	26,2	12,1	25,4	36,6	16,9

Comme on pouvait s'y attendre avec un climat comme celui de Montréal, les besoins en chaud sont supérieurs à ceux en froid. Cependant, il est intéressant de noter que les pointes de chauffage et climatisation sont du même ordre de grandeur impliquant une augmentation de la pointe sur le réseau d'Hydro-Québec en hiver et en été. Les rejets thermiques s'élèvent à 25,4 GWh soit à peu près à 130 kWh/m<sup>2</sup> de toiture par an.

### 3.1.3 Paramètres du scénario de référence

Pour la simulation du nouveau bâti, plusieurs hypothèses de modélisation ont été effectuées<sup>4</sup>. Pour les besoins en climatisation, il est supposé qu'un refroidisseur avec un coefficient de performance (COP) moyen saisonnier (incluant

---

<sup>4</sup> Consulter le rapport annexé de Polytechnique Montréal pour les détails de simulation et hypothèses.

tous les accessoires) de 2,5 reprenne les charges. La puissance électrique de climatisation est donc obtenue en divisant les besoins par 2,5.

L'eau chaude domestique est fournie par un système au gaz avec un rendement de 80 %, représentant un système collectif typique installé dans les nouveaux immeubles à logements à Montréal.

Pour le chauffage des espaces, on suppose que 30 % de la superficie totale des bâtiments est chauffée entièrement à l'électricité avec un rendement de 100 % (planches électriques). Le reste de la superficie des bâtiments est chauffé par un système hybride électrique / gaz : des résistances électriques (rendement de 100 %) fournissent jusqu'à 30 % de la demande de pointe, et un système au gaz naturel (rendement de 90 %) fournit le reste de la demande. Cette hypothèse correspond au dimensionnement classique dans les grands immeubles de Montréal afin de limiter les coûts de la demande de puissance.

### 3.1.4 Résultats et Analyse sommaire des consommations, appels de pointe et émissions de GES

Le tableau 2 présente les consommations, appels de pointe et émissions de GES annuels liés à l'utilisation du gaz et de l'électricité pour combler les besoins en chaud et en froid des bâtiments. Les émissions de CO<sub>2</sub> équivalent ont été calculées à partir des facteurs utilisés par Transition Énergétique Québec (2019). La pointe hivernale correspond au moment de la demande maximale en chaud (chauffage + ECD) pendant la période d'octobre à avril (inclus), et la pointe estivale correspond au moment de la demande maximale en climatisation pendant la période de mai à septembre (inclus).

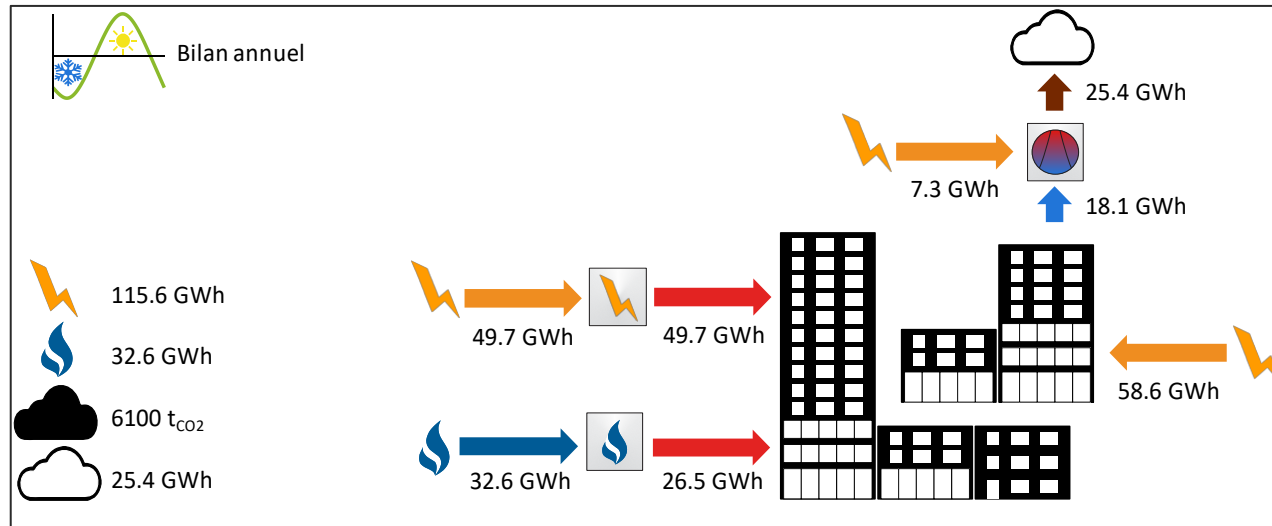
Tableau 2 : Consommation, demande de pointe et émission de GES du nouveau bâti

Gaz				Électricité				Total			
Consommation (GWh)	Pointe été (MW)	Pointe hiver (MW)	t.eq CO <sub>2</sub>	Consommation (GWh)	Pointe été (MW)	Pointe hiver (MW)	t.eq CO <sub>2</sub>	Consommation (GWh)	Pointe été (MW)	Pointe hiver (MW)	t.eq CO <sub>2</sub>
32.6	2.9	19.9	5857	115.6	22.2	26.7	231	148.2	25.1	46.6	6088

Les émissions de GES sont de 7 221 t.eq. CO<sub>2</sub> en considérant les émissions fugitives de réfrigérant provenant des unités individuelles.

Les figures 5 et 6 viennent détailler les résultats présentés dans le tableau 2 et schématisent le fonctionnement de du scénario de référence tout en présentant les résultats pour les consommations annuelles et les pointes en électricité (chauffage et climatisation) et en gaz (chauffage et ECD). Les émissions en équivalent CO<sub>2</sub> (nuage noir dans les schémas) et les rejets thermiques dans l'atmosphère (nuage blanc) y sont également présentés.

Figure 5 : Scénario de référence / performance annuelle



Note sur l'interprétation des figures 5 et 6 (idem pour les figures présentées dans le rapport annexé de Polytechnique Montréal) :

Les pompes à chaleur et climatiseurs sont représentées par l'icône suivante : 

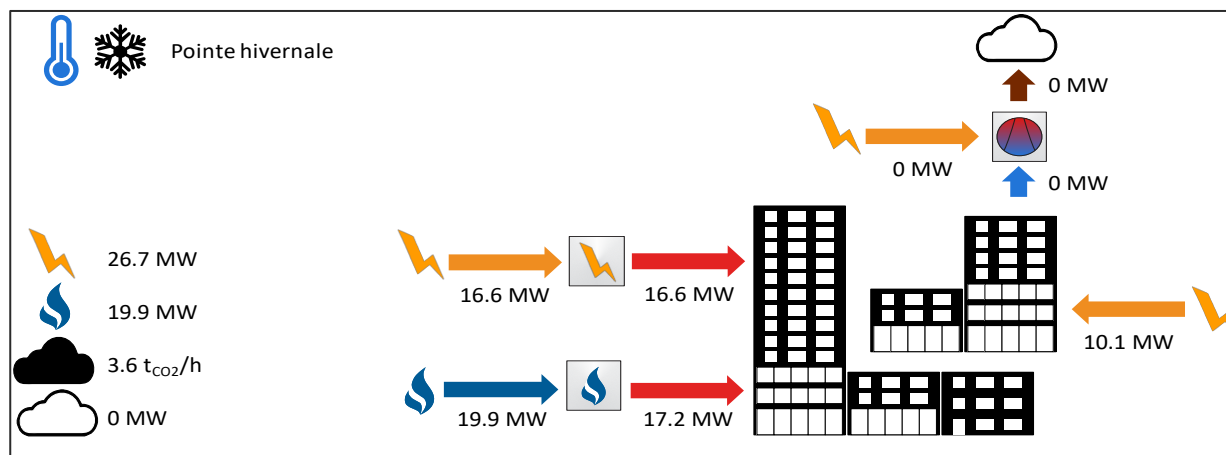
Pour le bilan annuel représenté à la Figure 5, les besoins en climatisation sont de 18,1 GWh. Cette quantité de chaleur est extraite du bâtiment par des climatiseurs (la flèche bleue représente un besoin de climatisation). Les climatiseurs consomment une quantité de 7,3 GWh d'électricité (flèche orange) et rejettent 25,4 GWh de chaleur dans l'air ambiant (flèche marron). Les besoins de chauffage (flèches rouges) sont partiellement comblés par des plinthes électriques (49,7 GWh de chaleur qui correspondent à 49,7 GWh d'électricité) et partiellement par des chaudières au gaz (26,5 GWh de chaleur qui correspondent à 32,6 GWh de gaz). Les symboles à gauche de la figure représentent respectivement la consommation totale d'électricité (115,6 GWh), la consommation totale de gaz (32,6 GWh), les émissions de GES (6100 t<sub>eqCO<sub>2</sub></sub>) et les rejets de chaleur dans l'air ambiant (25,4 GWh).

Comme on pouvait s’y attendre avec le climat montréalais, les besoins annuels en chauffage (chauffage des espaces + ECD) des bâtiments sont supérieurs à ceux en froid avec des besoins de 76,1 GWh/an (49,7+26,5, Figure 5) contre 18,1 GWh/an. Cependant, les pointes en chauffage et en climatisation des bâtiments sont du même ordre de grandeur (33,8 MW pour les besoins en chaud (16,6+17,2, Figure 6) et 26,1 MW pour ceux en froid).

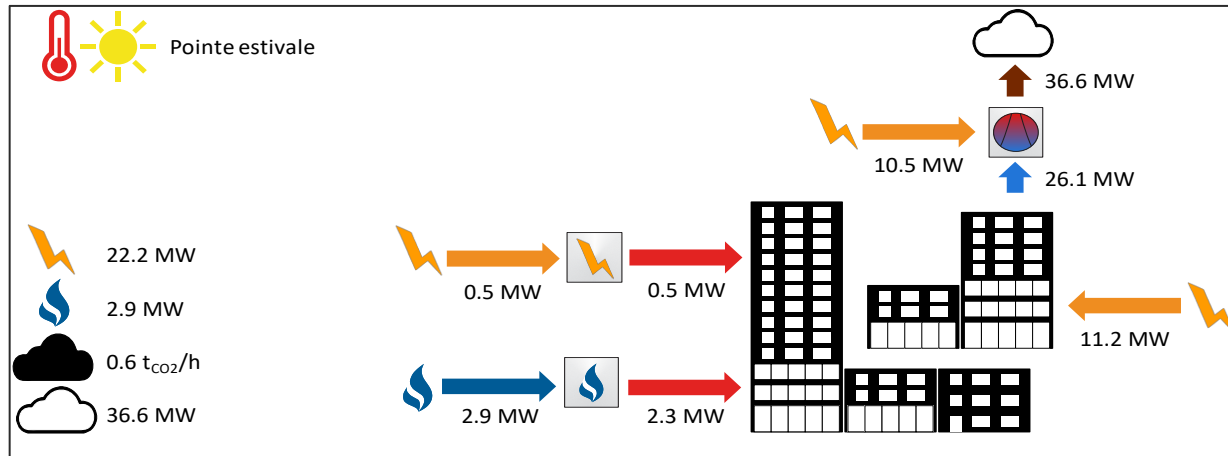
Étant donné que les besoins pour l’ECD sont comblés par des chauffe-eaux au gaz, il existe une consommation de base non nulle pour ce besoin tout au long de l’année. De plus, les pointes de chauffage sont elles aussi satisfaites par l’utilisation du gaz, c’est pour cela qu’il existe une augmentation de la consommation de gaz pendant l’hiver.

Le chauffage représente la principale partie de la consommation électrique en période de pointe hivernale, tandis que la consommation électrique en période de pointe estivale est dominée par les besoins de climatisation et de l’EEA<sup>5</sup>.

Figure 6: Scénario de référence / demande pointe hivernale et estivale



<sup>5</sup> Voir les graphiques détaillés dans le rapport annexé de Polytechnique Montréal



L'électricité est utilisée pour une partie du chauffage, la climatisation des espaces et pour l'éclairage et les équipements et appareils (EEA). On peut donc remarquer une consommation d'électricité non-nulle pendant l'année due au EEA et des pics de consommation en hiver et en été pour combler les besoins de climatisation et une partie de ceux de chauffage.

Au regard de ces résultats et des objectifs visés, nous devons évaluer si un réseau thermique alimenté par des gisements « durables » peut permettre de réduire les émissions de GES (gaz, réfrigérant), les rejets thermiques (gaz, climatisation) ainsi que la pointe sur le réseau électrique. Mais nous devons avant tout évaluer les gisements.

### 3.2 Identification et évaluation des gisements énergétiques

Tel qu'expliqué en section 2, les réseaux thermiques de nouvelles générations ouvrent la voie aux EnR et à la valorisation des rejets thermiques devenant ainsi un levier pour initier une transition énergétique à l'échelle des villes.

Cinq gisements énergétiques identifiés dans le secteur à l'étude ont été considérés pour les fins de l'analyse :

1. Valorisation des rejets thermiques issus des effluents liquides dans les égouts
2. Exploitation de la capacité thermique du fleuve Saint-Laurent (principe de l'hydrothermie)
3. Valorisation des rejets thermiques issus d'un éventuel centre de données
4. Valorisation des rejets thermiques d'origine industrielle
5. Valorisation des fonctions exothermiques (fonctions qui dégagent de la chaleur) et du potentiel Négawatt (conservation et efficacité énergétique)

Le potentiel de conservation et d'efficacité énergétique, considéré comme gisement énergétique, a été abordé dans la partie 3.1 à l'intérieur des paramètres et des hypothèses ayant été utilisées pour effectuer l'évaluation des besoins énergétiques (la future demande). Les paramètres sont ceux du code du bâtiment laissant présager un potentiel à exploiter, ce que nous préciserons dans les recommandations.

Les rejets thermiques d'origine industrielle n'ont pas été traités dans cette étude du fait du peu d'installations industrielles ayant un potentiel thermique exploitable et des distances entre celles-ci et le secteur à l'étude. Nous en ferons mention ultérieurement dans l'étude dans une vision d'extension potentielle du réseau et/ou d'une synergie avec le chauffage des ouvrages de génie civil (route et trottoirs).

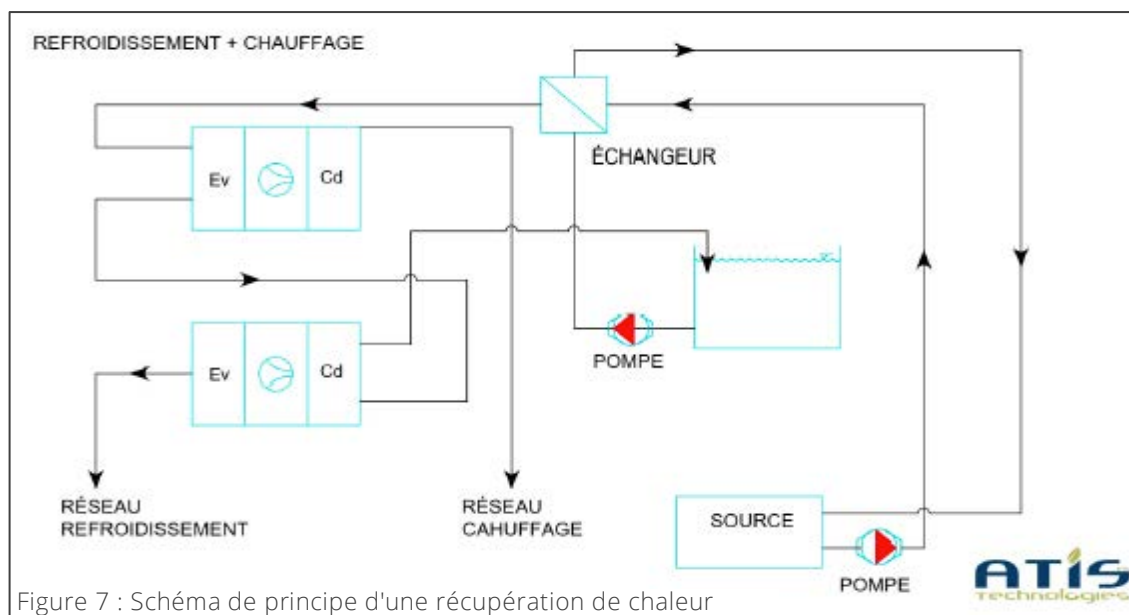
Les rejets thermiques d'un éventuel centre de données représentent un gisement exploitable et très opportun. Étant donné qu'un centre de données est aussi un consommateur d'énergie, il a été décidé de l'analyser comme étant un bâtiment et a donc également été traité dans la section 4 sur l'analyse des scénarios de réseaux proposés.

En conclusion, seuls les potentiels thermiques du fleuve et des effluents ont été traités comme gisement dans cette partie.



### Intrants à considérer dans l'évaluation du potentiel thermique

L'exploitation du potentiel thermique provenant des gisements identifiés et visant à alimenter le réseau thermique de distribution se fera grâce à un système mécanique intégrant un échangeur de chaleur (indirect) qui alimentera ensuite des pompes à chaleur (PAC). Le schéma de principe du système mécanique est présenté en figure 7 ci-dessous.



Les éléments à considérer dans l'évaluation du potentiel thermique pour répondre aux besoins en aval sur lesquels agir afin de maximiser le réseau et de calculer les coûts d'implantation sont les suivants :

- L'infrastructure permettant de capter une partie de l'énergie thermique contenue dans les effluents
- Le système de pompage (fonctionnant à l'électricité)
- L'échangeur thermique qui transfère l'énergie du gisement considéré à un fluide caloporteur
- Le bassin tampon permettant de contrôler les écarts importants de température
- Les pompes à chaleur (incluant condenseur et évaporateur) qui permettent d'amener la température du fluide caloporteur à la température désirée pour répondre aux besoins en énergie (chaud et/ou froid).

Ce système de récupération de chaleur prévaut pour les deux types de gisements considérés (effluents et fleuve).

### 3.2.1 Caractérisation du potentiel thermique des effluents liquides (égouts) et du fleuve

#### 3.2.1.1 Généralités sur le réseau d'égout et identification des données et contraintes limitatives

Le réseau d'égout montréalais peut se catégoriser en trois segments qui s'apparentent à un jeu de déversoirs fonctionnant essentiellement de manière gravitaire :

- Le réseau local représente le sous-réseau de raccordement de l'égout aux bâtiments.
- Les collecteurs représentent le sous-réseau où se déversent les effluents du réseau local et les eaux de ruissellement. Ils ont différents diamètres fonction du débit et du caractère unitaire/séparatif (annexe 5).
- Les intercepteurs constituent le sous-réseau dans lequel se déversent les collecteurs. D'un diamètre allant jusqu'à 4 m, ils sont situés à une profondeur d'environ 40 m dans le secteur à l'étude.

Nous avons placé en annexe 4 une carte du réseau d'égout dans le secteur à l'étude fournie par la DEEU, service de l'eau, ville de Montréal, indiquant le réseau de collecteurs existants et les points de raccordement à l'intercepteur.

Trois types de données sont nécessaires pour l'évaluation du gisement et la détermination du potentiel exploitable :

- Données de température dans les collecteurs et les intercepteurs
- Les débits dans les différents réseaux (réseau local, collecteurs, intercepteurs)
- La cartographie du réseau (existante et projetée)

Données acquises :

L'essentiel des données et informations recueillies proviennent de la DEEU, Service de l'eau de la ville de Montréal. Malgré tout, beaucoup de données nécessaires à l'analyse sont manquantes.

- La carte du réseau projetée (plan directeur) n'a pas été élaborée à ce jour par la DRE. Il s'agit d'une opportunité pour voir à concevoir le futur réseau pour faciliter la récupération de chaleur des eaux usées.
- Il n'y a pas de relevé de température dans le secteur à l'étude. Seules celles provenant du mesurage effectué en continu dans les intercepteurs en aval de chute à neige à la station Boucherville et McGill ont été acquises<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Ces données sont relevées à des fins d'alerte en cas de refroidissement trop important des effluents avant leur arrivée à la station d'épuration.

- Les données sont en général disséminées dans différents sous-services du service de l'eau rendant la tâche d'acquisition difficile. Les demandes de données ont également soulevé des inquiétudes justifiées auprès des opérateurs de réseau et de station d'épuration. Nous y reviendrons dans nos recommandations.

### 3.2.2 Généralités sur le potentiel offert par le fleuve et identification des données et contraintes limitatives

Suivant les mêmes principes que la géothermie et l'aérothermie, il y a matière à exploiter les capacités thermiques du fleuve à des fins de chauffage et de refroidissement. L'hydrothermie est de ce fait plus efficace que l'aérothermie et est plus facile à opérer en termes de disponibilité d'énergie que l'aérothermie, et moins coûteux que la géothermie.

La taille et le débit gigantesques du Saint-Laurent sont un atout pour l'exploitation requérant une grande capacité thermique car son débit rend possible l'utilisation de grand volume d'eau permettant une conception qui favorise une différence de température ( $\Delta T$ ) minime entre l'eau prélevée et rejetée, et aurait donc un impact très insignifiant sur la faune et la flore du fleuve. De plus, de faibles différences de températures sont requises pour la conception puisque la température du fleuve en hiver atteint 4 °C et que la température de sortie de l'échangeur ne peut être sous le point de congélation (0 °C).

Malgré tout, une veille réglementaire s'impose car le fleuve, sa faune et sa flore sont protégés à juste titre par un carcan réglementaire.

Par ailleurs, nous sommes d'avis que l'entreprise Molson, encore en activité dans le secteur à l'étude, dispose fort probablement d'un accès au fleuve à des fins de procédé industriel (clause grand-père). Cet accès au fleuve se matérialiserait par un ou plusieurs équipements de pompage et de tuyaux de prélèvement et de rejet sous la surface.

Cet élément d'information serait primordial à vérifier car il s'agit d'une importante opportunité pour une valorisation thermique du fleuve (diminution des coûts d'implantation, espace disponible opportun pour implanter une centrale thermique pour le réseau).

Deux types de données sont nécessaires pour l'évaluation du gisement et la détermination du potentiel exploitable :

- Données de température annualisées en profondeur dans le fleuve
- Les débits dans les différents équipements

Les données de température du fleuve en profondeur n'ont pas été obtenues, ni auprès des ministères provinciaux concernés, ni auprès des ministères et services fédéraux<sup>7</sup>. Nous ne sommes malheureusement pas en mesure d'affirmer à l'heure actuelle que ces données sont effectivement générées. Seules celles mesurées en surface par le service hydrographique du Canada ont pu être collectées. **Il sera nécessaire de générer ces données de température en profondeur pour évaluer de manière pertinente et juste le dimensionnement des équipements attenants.**

Les données quant au débit du fleuve sont fournis par l'OGSL et disponibles sur leur site<sup>8</sup>. Il n'y a aucun enjeu concernant le débit du fleuve même si le jeu de données provient d'un mesurage effectué à la ville de Québec.

### 3.2.3 Résultats et interprétation

La méthodologie et les résultats complets de l'évaluation des deux gisements sont précisés dans le rapport annexé d'Atis Technologies.

Étant donné le manque de données, il a été décidé d'évaluer le potentiel de valorisation des deux gisements en considérant les pires conditions, à savoir la température la plus basse en hiver et la plus chaude en été. **Une validation des données hivernales sera requise ainsi qu'une campagne de prélèvement de température au minima sur 6 mois en hiver pour le fleuve comme pour les effluents. Nous y reviendrons dans notre conclusion et recommandations**

*Données considérées pour les effluents :*

La plage de température [6 °C – 25 °C] et un débit > 40 000 m<sup>3</sup>/jour<sup>9</sup> ont donc été retenus. La température de 6 °C en hiver est assez faible bien que supérieure à la température ambiante en surface. Cependant, nous pensons que les températures sont supérieures lorsque prises en amont des chutes à neige.

*Données considérées pour le fleuve :*

La plage de température [4 °C – 25 °C] a été retenue. Le débit n'est pas un enjeu.

---

<sup>7</sup> Une demande d'accès à des données de températures en eaux profondes est en cours de traitement auprès du Service météorologique du Canada (SMC), Environnement et Changement climatique Canada (en attente d'une réponse du ENR – Équipe nationale de renseignements

<sup>8</sup> <https://ogsl.ca/fr/oceanographie/debits>

<sup>9</sup> Valeur minimale pour profiter du potentiel thermique. Montréal aurait un débit dans ses intercepteurs environ 10 fois plus important.

Le dimensionnement des équipements se fait en considérant la puissance désirée dans le réseau de distribution. Pour les effluents comme pour l'eau du fleuve, une puissance fournie au réseau urbain appartenant à une plage située entre 4 MW et 50 MW dans des conditions de chauffage a ainsi été analysée (4 MW étant le minimum requis pour légitimer un réseau, 50 MW étant un maximum communément adopté comme valeur plafond).

Le Tableau 3 présente les différentes puissances thermiques qui pourraient être fournies au réseau de distribution dans la plage considérée en fonction des paramètres d'entrée (potentiel des gisements) dans les pires conditions de température. Cette méthode permet de renseigner le dimensionnement nécessaire des installations mécaniques pour se faire qui, on le rappelle, se fera sur la base du besoin en froid du réseau.

Tableau 3 : Évaluation des puissances thermiques exploitables (effluents, fleuve)

Chauffage	Effluents				Fleuve			
	Source (MW)	Pompage (MW)	Pch (MW)	echQ (m <sup>2</sup> )	Puissance thermique réseau (MW)	Pompage (MW)	Pch (MW)	echQ (m <sup>2</sup> )
25	1.0	25	6 500	50	0.7	27.8	10 000	52.8
20	0.8	20	5 200	40	0.6	22.2	8 000	42.2
15	0.6	15	4 000	30	0.5	16.7	6 000	31.7
10	0.4	10	3 000	20	0.4	11.1	4 000	21.1
5	0.2	5	1 300	10	0.3	5.6	2 000	10.6
2	0.1	2	600	4	0.3	2.2	800	4.2

Légende :

- Chauffage : Puissance requise de la source de chaleur (effluent et fleuve)
- Pompage : Puissance motrice de pompage requise pour pomper les effluents ou l'eau du fleuve
- Pch : Puissance électrique consommée par la pompe à chaleur (PAC)
- echQ : Surface de l'échangeur thermique requis pour puiser l'énergie de la source (effluent, fleuve)
- Puiss. Thermique réseau : Puissance thermique délivrée au réseau

Dans cette plage de puissances fournies, les pompes à chaleur installées peuvent également fournir le refroidissement pour le réseau en période estivale et selon les besoins. **Donc si une infrastructure de « n » pompes à chaleur installées fournissent 45 MW de chauffage en hiver, la même infrastructure pourra fournir 45 MW de refroidissement au réseau en été.** Cet élément est important à plusieurs niveaux :

- Dans un objectif de rentabilité, la facturation énergétique serait basée sur le chauffage et le refroidissement ce qui permet une annualisation des revenus potentiels. Par ailleurs, la production de froid et de chaleur lors des 3 saisons de l'année permet également la valorisation croisée des flux chaud et/ou froid et améliore donc la performance (l'efficacité) du système.
- Dans un objectif d'adaptation au changement climatique et de fourniture de service, le réseau serait capable de fournir la climatisation nécessaire, ce qui sera considéré dans les simulations effectuées ci-dessous.
- Dans un objectif de lutte au changement climatique / protection de la couche d'ozone, cela permet de fortement diminuer la quantité de climatiseur décentralisé contenant des fluides frigorigènes à fort PRG et PDO.

Globalement, avant même de considérer le potentiel de valorisation des rejets thermiques d'un centre de données, le potentiel thermique offert par les effluents et/ou le fleuve pourrait, sans considération de coûts ni de contraintes liées à l'implantation des équipements, **fournir l'énergie suffisante pour alimenter un réseau de distribution sans nécessiter d'appoint en gaz pour couvrir les pointes.**

Il est important de comprendre que si les températures des gisements sont plus élevées en hiver, la puissance requise en hiver des systèmes mécaniques pour le chauffage pour valoriser le potentiel thermique sera moindre. Ceci entraîne un dimensionnement des équipements plus petit et une réduction des coûts d'immobilisation.

Selon la même logique, pour les conditions estivales, les calculs présentés sont sur le pire cas de figure ( $T = 25^{\circ}\text{C}$  dans le fleuve). Cette eau est cette fois-ci utilisée pour absorber la chaleur dégagée par le condenseur de la pompe à chaleur. Une température plus basse du fleuve permettra un rendement de production de froid meilleur (COP) signifiant que l'énergie électrique pour produire et distribuer ce froid sera plus faible dans les conditions de température plus faible ou transitoire.

Dans la suite des analyses effectuées, nous avons considéré une puissance de production thermique capable de remplir les besoins en froid (climatisation) soit environ 30 MW.

### 3.2.4 Informations générales concernant le système et la salle mécaniques (effluents et/ou fleuve)

#### Prélèvement de la chaleur dans les effluents :

Il existe de nombreuses techniques de captation de la chaleur dans les égouts. Nous en présentons deux sortes :

- Captation dans les égouts :

La Figure 8 présente un ensemble de systèmes qui captent la chaleur directement à même les canalisations. Il faut noter que ces systèmes ne sont pas intrusifs dans les égouts car ils font partie de la structure de l'égout (ce n'est pas une pièce rajoutée). Cet élément est important étant donné les conséquences qu'un décrochement d'équipement pourraient entraîner dans le système d'égout et d'acheminement des effluents jusqu'à la STEP.

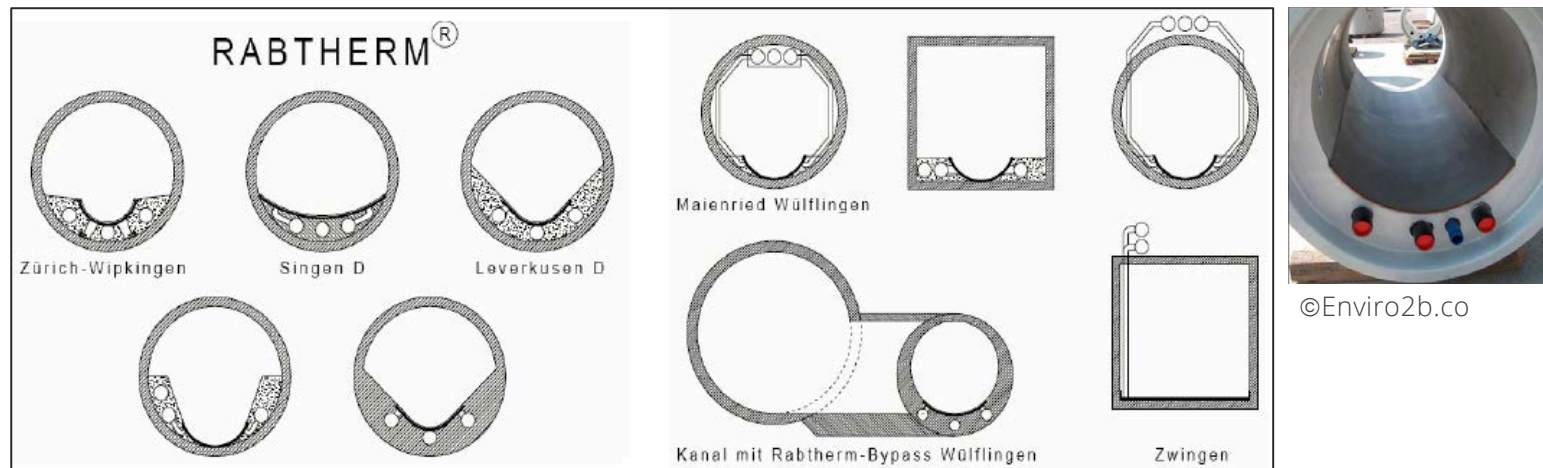


Figure 8 : Coupes de différentes techniques de récupération de chaleur (Crédit : Rabtherm)

- Captation par un échangeur de chaleur

La captation de chaleur directement dans les égouts nécessiterait (pour un égout de 4m de diamètre) une longueur de remplacement de collecteur d'environ 5 km ! Il a donc été décidé d'opter pour un échangeur à plaques pour des raisons pratiques. Ce système permet en plus de faciliter les besoins de maintenance et de nettoyage des équipements comparé à un égout collecteur.

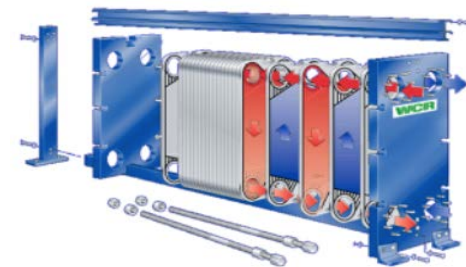


Figure 9 : Échangeur de chaleur à plaques (Crédit : Wikimedia)

Cet échangeur à plaque est idéalement situé à côté de la canalisation pour diminuer les longueurs de tuyauterie et la puissance du système de pompage qui amène les effluents à l'échangeur.

Salle et système mécanique permettant l'exploitation des gisements (effluents et fleuve)

Nous présentons ici deux systèmes distincts de pompe à chaleur (PAC) qui donnent une vue de la taille de l'équipement. Ces images ne donnent pas d'information concernant l'échangeur de chaleur qui se doit d'être au plus près de la source afin d'éviter les pertes en puissance de la pompe requise. Les pompes à chaleur peuvent se situer en surface même si le scénario idéal voudrait les PAC proches de l'échangeur de chaleur.

Figure 10 : Illustration de la taille des pompes à chaleur et de la salle mécanique.



Crédit : PNUE [3], Helsinki



©Voirvert, 2018, Faubourgs du moulin, Québec



## 4 Types de réseaux opportuns et scénarios à envisager

Cette section vise à renseigner à haut niveau ce à quoi ressemblerait un réseau qui, à la hauteur des premières analyses effectuées et des objectifs désirés spécifiés (voir §2.2.2), serait opportun pour le secteur à l'étude.

Rapidement, nos premiers résultats d'analyse ont conforté l'idée et l'opportunité de développer un réseau en considérant le potentiel thermique offert par les différentes sources présentes localement mais surtout considérant la requalification du secteur avec une planification en amont à travers un PPU. Cependant, des défis d'importance devront être considérés, et une stratégie long terme avec des objectifs clairs devront être définis

L'analyse des gisements, des besoins et des opportunités connus nous a amené à considérer deux types de réseaux thermiques pour le secteur (tel que décrit dans la section 2) :

1. **Réseau centralisé** : Réseau thermique chaud-froid alimenté par une ou plusieurs centrale(s) thermique(s) utilisant un ou plusieurs gisements énergétiques disponibles dans l'environnement immédiat (4<sup>e</sup> G).
2. **Réseau décentralisé** : Réseau thermique à boucle d'eau mitigée fonctionnant en mode décentralisée et dont les bâtiments clients deviennent aussi des producteurs d'énergie (5<sup>e</sup> G).

À partir de ces réseaux, nous avons retenu quatre scénarios étudiés en fonction du scénario de référence (BAU) :

- Scénario 1 : Réseau centralisé
  - Scénario 1.1 : alimenté par le fleuve et/ou les effluents
  - Scénario 1.2 : alimenté par le fleuve et/ou les effluents avec un centre de données
- Scénario 2 : Réseau décentralisé alimenté par les bâtiments clients
  - Scénario 2.1 : utilisant le fleuve ou les égouts comme source d'énergie d'appoint ou comme un puits
  - Scénario 2.2 : utilisant le fleuve ou les égouts comme appoint ou puits, avec un centre de données.

Dans les quatre cas, les données de consommations, de puissance de pointe et d'émissions de GES ont été calculées.

Nous profitons de cette section pour préciser les avantages, inconvénients et opportunités liés à chaque scénario.

## 4.1 Présentation des types de réseaux opportuns et hypothèses de fonctionnement

### 4.1.1 Réseau urbain chaud-froid (centralisé)

Le premier scénario de réseaux de chaleur, que nous avons appelé « réseau de 4<sup>ème</sup> génération », correspond à la mise en œuvre de 2 réseaux centralisés :

- Un réseau de chauffage urbain à température modérée (de l'ordre de 75 °C) qui permet de satisfaire directement les besoins en chauffage des espaces et en eau chaude domestique des bâtiments, et
- Un réseau d'eau refroidie (à une température d'alimentation de 6 °C) qui permet de satisfaire directement les besoins de climatisation des bâtiments. La Figure 11 ci-dessous illustre une telle implantation.

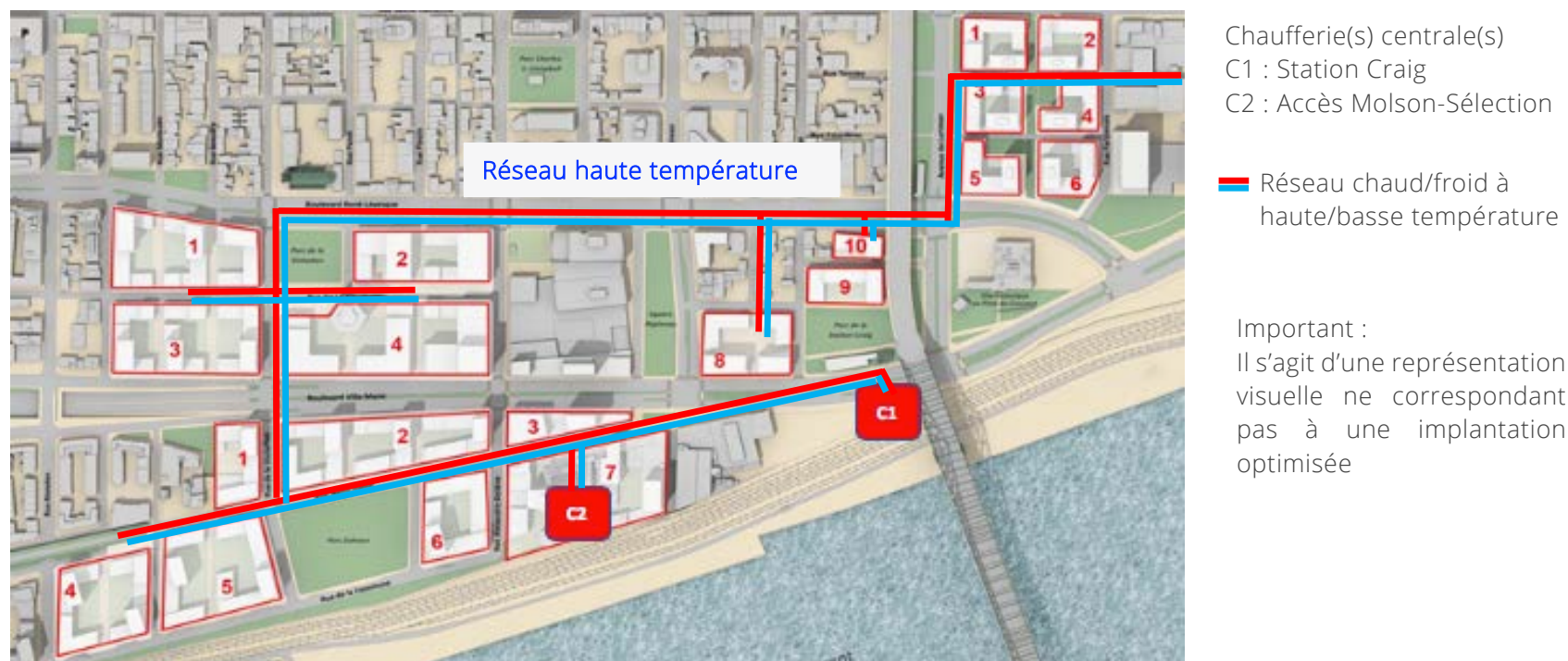


Figure 11: Représentation visuelle d'un réseau centralisé (Crédit : Écohabitation)

### Fonctionnement général du réseau

- Grâce à un échangeur de chaleur, on prélève la chaleur dans le fleuve et/ou dans les effluents
- Cette chaleur est ensuite acheminée à une pompe à chaleur située dans la centrale thermique pour être amenée à température désiré dans le réseau (autour de 75 °C). Deux options pour la centrale :
  - o Centrale C1 : Station Craig qui pourrait être opportune pour l'implantation du système mécanique permettant la valorisation de la chaleur issue des eaux usées;
  - o Centrale C2 : Site Molson-Sélection qui pourrait être opportun pour l'implantation du système mécanique permettant la valorisation du potentiel thermique du fleuve.
- Le fluide caloporteur ainsi réchauffé est ensuite acheminé jusqu'aux bâtiments clients à l'aide d'un réseau haute température composé de canalisations isolées pour éviter les pertes thermiques.
- Les systèmes mécaniques des sous-stations dans les bâtiments clients alimentent le réseau secondaire directement grâce aux hautes températures délivrées en entrée.

En se fiant aux données de température et de débits du fleuve et des égouts, chacun des deux gisements évalués serait en mesure d'alimenter le réseau en chaleur et en froid. Le choix entre l'une ou l'autre ou des deux sources d'énergie sera inhérent aux avantages, inconvénients et opportunités qui sont fonction de la vision et des objectifs à long terme du promoteur (ville de Montréal) concernant cette infrastructure.

Quatre options s'offrent à lui :

- o Exploitation du gisement énergétique des effluents uniquement (C1 idéalement, C2 faisable);
- o Exploitation unique du gisement énergétique du fleuve (C2 idéalement, C1 peut-être faisable);
- o Exploitation des deux gisements :
  - Les centrales C1 et C2 peuvent fonctionner en série mais ne pas être localisées au même endroit;
  - Les centrales C1 et C2 peuvent fonctionner en série mais être localisées au même endroit (à première vue, préférentiellement à C1, mais C2 pourrait être opportun<sup>10</sup>).

---

<sup>10</sup> Deux paramètres sont à considérer : L'existence d'une canalisation reliant Molson au fleuve ; la distance entre Molson et le collecteur d'égout.

Si la volonté à long terme est d'alimenter d'autres bâtiments existants dans le secteur ou de voir à une extension du réseau dans les secteurs avoisinants, alors il serait peut-être opportun de considérer les deux sources.

Si telle est l'intention, sans nécessité d'installer les systèmes mécaniques en premier lieu pour les deux options, **il sera alors primordial de prévoir en amont l'espace nécessaire pour l'installation ultérieure des systèmes ainsi que les accès et les points de connexion au réseau.**

Les données concernant l'espace disponible au sous-sol de la station Craig, les distances pour se connecter au réseau d'égout actif via la station Craig, ainsi que l'existence de canalisations connectées au fleuve et de disposer d'un espace suffisant dans les sous-sols de l'entreprise Molson n'ayant pas été obtenues avec suffisamment de précision, **nous préférons ne pas préconiser un scénario d'implantation de centrale plus qu'un autre.**

Une étude spécifique et d'ordre financière pour définir la localisation la plus opportune de la centrale thermique s'impose afin de considérer les avantages et inconvénients de chacune.

#### 4.1.2 Réseau urbain avec boucle mitigée (ou boucle d'eau tempérée) (décentralisée)

Le deuxième scénario de réseau de chaleur, que nous avons appelé « réseau de 5<sup>ème</sup> génération », correspond à la mise en œuvre d'une boucle d'eau mitigée (c'est-à-dire maintenue dans une gamme de température située entre 15°C et 35°C) qui est utilisée par les bâtiments comme source ou puits de chaleur. **La température de la boucle mitigée n'est pas directement utilisable pour le chauffage, l'ECD ou la climatisation, donc les bâtiments individuels sont équipés de pompes à chaleur dans leur sous-station pour satisfaire ces besoins (voir annexes 6 et 7).**

Ce type de réseau utilise un système de distribution du fluide caloporteur beaucoup moins dispendieux et complexe car c'est une eau à température inférieure à 40 °C qui circule et qui exige beaucoup moins d'isolation. Pour ce type de réseau, on suppose que les pertes ou gains de chaleur sont négligeables. Pour ces raisons, les réseaux 5<sup>ème</sup> génération peuvent s'avérer plus avantageux lorsque de longue distance sont à parcourir.

La Figure 12 ci-dessous donne une représentation visuelle du circuit de boucle mitigée pour le secteur à l'étude.

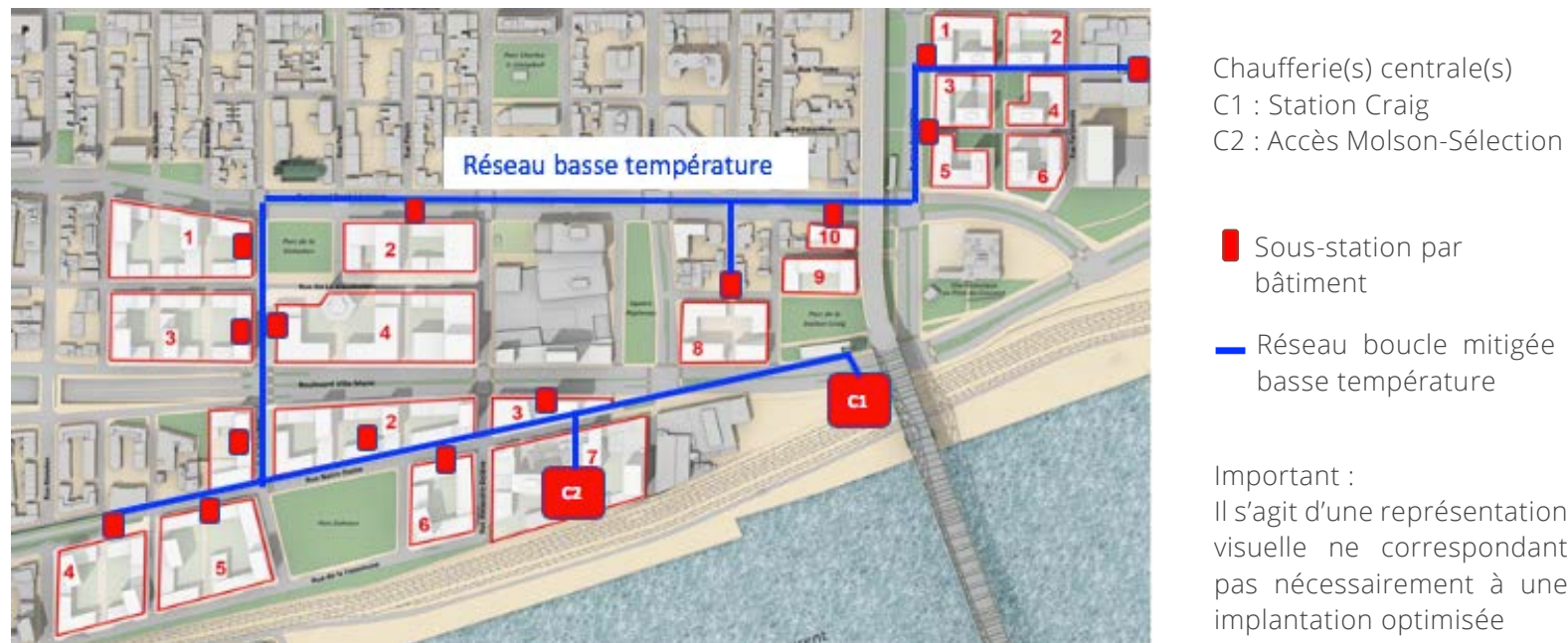


Figure 12: Représentation visuelle d'un réseau décentralisé

Fonctionnement général du réseau :

- L'énergie est essentiellement transférée par plusieurs unités (PAC) situées dans les bâtiments clients du réseau
- Le réseau est ainsi « balancé » par ses différentes sous-stations (carré rouge sous-station, annexe 7).
- En cas de déséquilibre entre la capacité de la boucle et de la demande, le fleuve ou les effluents peuvent alors servir de source d'énergie d'appoint ou de puits.
- Les systèmes mécaniques des sous-stations dans les bâtiments clients sont plus complexes et onéreux pour les promoteurs/gestionnaires de bâtiment) car elles doivent toutes être équipées de PAC (annexe 7).

Le principal avantage d'une boucle d'eau mitigée est normalement la diminution de la puissance installée dans la centrale thermique pour alimenter le réseau primaire qui joue alors un rôle plus secondaire en guise d'appoint ou de couverture de la pointe. Cet élément vrai pour les réseaux de chaleur sera vérifié ci-dessous pour les réseaux chaleur/climatisation.

## 4.2 Résultats des simulations pour les scénarios envisagés

Rappel des quatre scénarios envisagés :

- Scénario 1 : Réseau centralisé
  - Scénario 1.1 : alimenté par le fleuve et/ou les effluents
  - Scénario 1.2 : alimenté par le fleuve et/ou les effluents avec un centre de données
- Scénario 2 : Réseau décentralisé
  - Scénario 2.1 : utilisant le fleuve ou les égouts comme énergie d’appoint ou comme un puits
  - Scénario 2.2 : utilisant le fleuve ou les égouts comme appoint ou puits, avec un centre de données.

Nous rappelons que nous analysons les scénarios sous l’angle des émissions de GES, des effets sur la pointe électrique et des retombées en termes de résilience.

Les hypothèses de calculs et les résultats par scénario sont renseignés dans le rapport annexé de Polytechnique Montréal. Elles incluent les hypothèses concernant le centre de données ainsi que celles liées aux émissions de GES.

Concernant un hypothétique centre de données, nous répondons à la question : Est-ce qu’un centre de données est une opportunité ou pas dans la conception d’un réseau thermique visant des objectifs de réduction des émissions de GES, de résilience et de diminution d’impact sur la demande de pointe ?

Des visuels donnant une lecture des flux énergétiques ont été développés et placés dans le rapport de Polytechnique qui contient les analyses spécifiques à chaque scénario. Nous ne présentons ici que les résultats généraux.

### 4.2.1 Résultats des simulations

Le tableau 4 ci-dessous présente un résumé des principaux indicateurs de performance des différents scénarios suite aux simulations effectuées. Les résultats complets sont fournis dans le rapport Polytechnique Montréal annexé. Nous présentons ici les principaux résultats :

Tableau 4 : Consommation, demande de pointe, et émission de GES des différents scénarios

	Gaz				Électricité				CO <sub>2</sub> (t)	Consom- mation (GWh)	Émis- sion t.eq.CO <sub>2</sub>
	Consom- mation (GWh)	Pointe estivale (MW)	Pointe hivernale (MW)	Émis- sion t.eq.CO <sub>2</sub>	Consom- mation (GWh)	Pointe estivale (MW)	Pointe hivernale (MW)				
BAU sans Data Center	32,6	2.9	19.9	5857	115.6	22.5	26.7	231	148.2	6088	
4 <sup>ème</sup> Gen Sans Data Center	0.5	0	11.6	82	93	18.5	20.1	186	93.5	268	
5 <sup>ème</sup> Gen Sans Data Center	0	0	0	0	98.8	23.9	25.1	198	98.8	198	
BAU avec Data Center	32,6	2.9	19.9	5857	247	37.2	41.7	494	279.6	6361	
4 <sup>ème</sup> Gen Avec Data Center	0	0	0	0	208,9	33.5	35.1	418	209	418	
5 <sup>ème</sup> Gen Avec Data Center	0	0	0	0	227,2	40.2	36.7	454	227.2	454	

Voir Rapport Polytechnique (figure 6, 7, 22 et 23) pour visualiser les flux énergétiques dans les 4 scénarios simulés

### 4.3 Interprétation et Analyse des résultats

#### 4.3.1 Généralités

En première lecture, par rapport au scénario de référence, les deux types de réseaux sont très avantageux en termes de réduction des consommations énergétiques et des consommations en période de pointe, et donc de pression sur les utilités publiques, et ce, avec ou sans centre de données. Dans un scénario sans centre de données, le réseau 5<sup>e</sup> génération semble d'autant plus se distinguer, ce qui s'inverse dans un scénario avec un centre de données.

En effet, la modélisation des différents scénarios appliqués au nouveau bâti a permis de montrer que la mise en place d'un réseau de chaleur (4<sup>e</sup> G ou 5<sup>e</sup> G) dans ce quartier réduirait la consommation d'énergie (gaz ou électricité) grâce à l'utilisation d'équipements centralisés plus efficaces et à la récupération de chaleur entre les besoins en chaud et en froid, aussi bien pour les réseaux 4<sup>e</sup> G que pour les réseaux 5<sup>e</sup> G.

Il est à noter que même si le réseau de 5<sup>e</sup> G consomme moins de gaz naturel pour combler ses besoins en chaud que le réseau 4<sup>e</sup> G et que la récupération de chaleur est plus « efficace » dans le cas du 5<sup>e</sup> G que du 4<sup>e</sup> G, le réseau de 5<sup>ème</sup> génération consomme plus d'électricité à cause des pompes à chaleur décentralisées installées dans chaque bâtiment.

Par ailleurs, ces réseaux permettraient de réduire très significativement, voire même de supprimer, les émissions de GES du quartier en évitant le recours au gaz pour les pointes de chauffage et l'eau chaude domestique. De plus, l'implantation d'un réseau de chaleur permet d'éliminer les rejets thermiques dans l'atmosphère, permettant de réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain en rejetant la chaleur excédentaire dans les égouts ou dans le fleuve.

#### 4.3.2 Carboneutralité

La Figure 13 ci-dessous montre les émissions de GES pour les différents scénarios (en bleu, les émissions liées à la consommation de gaz, en orange, les émissions liées à la consommation d'électricité).

On constate que les scénarios avec réseaux de chaleur permettent de réduire très significativement les émissions de GES, principalement en réduisant le recours au gaz naturel pour satisfaire les besoins en eau chaude domestique et les pointes de demande en chauffage (100% pour le 5e G, 80 t<sub>CO2</sub>/an pour le 4eG).

Leur impact est encore plus significatif dans les scénarios qui incluent un centre de données, puisque la valorisation de la chaleur rejetée par ce dernier permet de se passer entièrement de gaz (suppression des GES).

Ce constat ne permet pas pour autant de distinguer un type de réseau sur un autre. Une analyse plus profonde s'impose pour valider les réductions des émissions de GES entre un type de réseau et un autre.

À cet effet, les deux types de réseaux permettent de réduire les émissions de GES et de substances appauvrissant la couche d'ozone comparé au scénario de référence en ce qui a trait au besoin de froid (climatisation) ; les réseaux 5<sup>e</sup> G moins que les 4<sup>e</sup> G. En effet, ils permettent d'éviter la multiplication de climatiseur par unité de logement et donc de garder un contrôle sur les fuites potentielles par une maintenance appropriée.

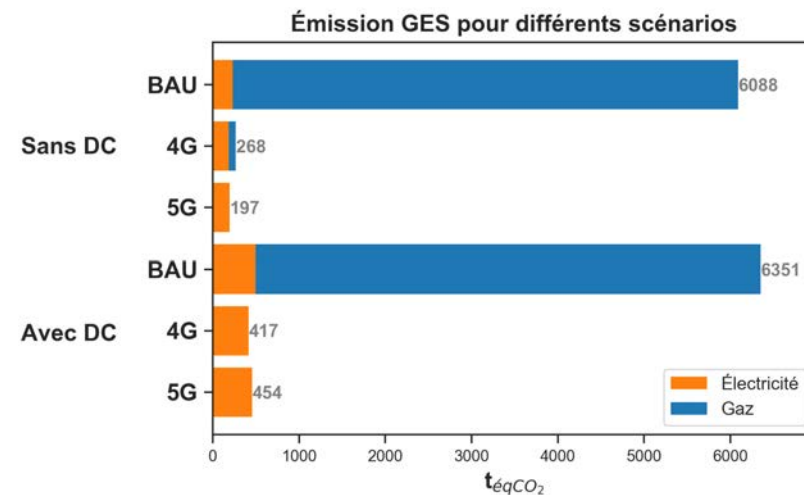


Figure 13: Émissions de GES à l'échelle du site pour les différents scénarios



Cependant, un aspect négatif des pompes à chaleur distribuées (réseau 5e G) est l'utilisation de plus grandes quantités de fluide réfrigérant dans chaque bâtiment. En cas de fuites et de non-récupération partielle ou totale en fin de vie, ce fluide, au fort potentiel de réchauffement climatique (PRG), ainsi que de destruction de la couche d'ozone (PDO), se retrouve dans l'atmosphère. Les réseaux 4<sup>e</sup> G alimentent en froid en nécessitant moins de réfrigérants à fort PDO et PRG dans les bâtiments. Pour plus de détails, consulter la section 5 du rapport annexé de Polytechnique Montréal.

#### 4.3.3 Effet sur la pointe électrique

La mise en place d'un réseau de chaleur dans le quartier diminue aussi la pointe électrique hivernale, avec un léger avantage pour le réseau de 4<sup>e</sup> G à cause de la consommation des PAC décentralisées dans le cas du réseau 5<sup>e</sup> G. Ce dernier aspect fait aussi en sorte que l'implantation d'un réseau 5<sup>e</sup> G dans le quartier augmente la pointe électrique estivale comparé au cas de référence (et au réseau 4<sup>e</sup> G). Les scénarios avec le réseau 4<sup>e</sup> G permettent donc d'avoir les pointes électriques (hivernales et estivales) les plus faibles.

Une conclusion intéressante est que le réseau de 4<sup>e</sup> G (centralisé) semble conduire à la réduction la plus importante de la demande de pointe sur le réseau électrique dans les deux configurations, avec ou sans centre de données.

#### 4.3.4 Implantation d'un centre de données

La présence d'un centre de données dans le quartier augmente considérablement les besoins de climatisation et la consommation d'électricité totale. Cependant, même en ajoutant une charge constante (12 MW de IT) dans le quartier, le scénario avec réseau de 4<sup>ème</sup> génération voit sa pointe électrique hivernale moins affectée que le cas de référence (20 % d'augmentation pour le 4<sup>e</sup> G contre 57 % pour le BAU).

L'ajout d'un centre de données dans le quartier est très avantageux lors de la présence de réseau de chaleur car cela permet de faire de la récupération de chaleur tout au long de l'année étant donné qu'il existe des besoins en chaud et en froid simultanément, rendant ainsi nuls les besoins en gaz des réseaux.

De plus, la présence d'un centre de données dans le quartier augmente la consommation/pointe électrique et les émissions de GES, mais ce pour chaque scénario (avec ou sans réseau de chaleur). Il est donc nécessaire que celui-ci soit relié à un réseau de chaleur, sinon une quantité de chaleur importante (~130 GWh/an pour un DC de 12 MW IT) est directement rejetée vers l'atmosphère.

#### 4.3.5 Conclusion et Éléments de résilience

Dans les scénarios proposés, **les réseaux thermiques aident à s'arrimer aux besoins de résilience climatique de la ville.** Cette affirmation se justifie selon différents critères mais restera malgré tout dépendante des choix qui seront fait et du niveau de leadership que la ville exercera dans la gouvernance et l'opération de l'infrastructure.

Du point de vue adaptation au changement climatique, les réseaux peuvent permettre de faire fonctionner les systèmes urbains (chauffage, climatisation, ECD) en cas de coupure dans le réseau principal d'Hydro-Québec. **Il y a une réponse en cas de choc** sur le système centralisé car le fonctionnement des pompes à chaleur, et autres pompes dans les scénarios proposés, peut être assuré avec des systèmes de secours prévus à cet effet mais à dimensionner selon le niveau de résilience requis (souvent des génératrices au diesel/gaz, ou une solution de stockage électrique).

Mais il y a aussi une réponse sur le stress que le développement urbain occasionne sur le réseau d'HQ. En diminuant les effets du nouveau bâti sur la demande en puissance de pointe, les réseaux de chaleur permettent d'exercer moins de pression sur le réseau électrique contribuant ainsi à sa résilience.

Les besoins de climatisation sont aujourd'hui devenus une réponse au changement climatique et aux vagues de chaleur inhérentes. **Les réseaux thermiques peuvent offrir cette climatisation en offrant des solutions à moindre impact sur le système énergétique** actuel en contrôlant mieux la puissance qu'un scénario BAU, et en offrant des solutions à moindre impact écologique en contrôlant les fuites de frigorigènes.

**Les deux types de réseaux proposés permettent par ailleurs de supprimer l'effet des rejets thermiques sur les îlots de chaleur** provoqués par les rejets thermiques qui sont soit exploités, soit rejetés dans les puits (fleuve, égouts) en fonction des conditions d'opération

-----  
On pourrait donc dire que l'implantation d'un réseau de chaleur rend le quartier plus résilient à plus d'un titre : les systèmes centralisés peuvent plus facilement être conçus avec de la redondance et des systèmes de secours, les réseaux de chaleur diminuent les pointes et réduisent donc en principe les risques de problèmes sur le réseau électrique, et enfin le quartier est plus résilient à la venue d'une nouvelle source importante de chaleur dans le quartier, comme par exemple un centre de données.

## 5 Renseignements haut-niveaux d'ordre financier des scénarios et éléments influents

Le coût d'un réseau est principalement dépendant de la puissance thermique demandée et du diamètre des canalisations installés dans le réseau primaire. Il va de soi que les coûts de génie civil sont également à considérer. Il y a cependant des facteurs contextuels pouvant influencer significativement les coûts ou le modèle financier ce que nous tentons de renseigner dans cette section.

En lien avec les scénarios étudiés, le type de réseau choisi influencera le coût total car il aura un impact direct sur le diamètre des canalisations. Les résultats détaillés dans le rapport de Polytechnique Montréal montrent que les puissances installées pour les pompes à chaleur centrales sont semblables dans le réseau de 4<sup>ème</sup> génération et dans le réseau de 5<sup>ème</sup> génération, avec des températures d'opération très différentes qui pourraient avoir un impact sur les coûts.

L'élaboration détaillée des coûts d'investissement du projet à ce niveau d'étude, en regard des hypothèses choisies pour remédier au manque de données et considérant les importants travaux de génie civil qui auront lieu dans le secteur, est très aléatoire la rendant peu crédible avec des marges d'erreur pouvant atteindre 100%. Nous avons décidé de ne renseigner quantitativement que les coûts en équipements qui sont possibles à évaluer.

Nous sommes d'avis que l'argument financier ne devrait pas être l'unique élément décisionnel mais il ne peut malgré tout être mis au second rang. L'élaboration du coût de revient est à prévoir dans une étape subséquente visant l'analyse détaillée des scénarios proposés.

Nous avons donc renseigné les aspects financiers de la manière suivante :

- Définition des variables de coûts à considérer (littérature, expérience)
- Estimation des coûts en équipement selon les données connues (expertise)
- Précisions apportées sur des opportunités de réduction de coûts identifiées (coûts d'opportunité ou évités)

Cette section est attenante à la section 6.2 sur les modèles financiers.

## 5.1 Variables générales de coûts

Nous précisons ici les éléments de coûts classiquement considérés pour élaborer le coût de revient.

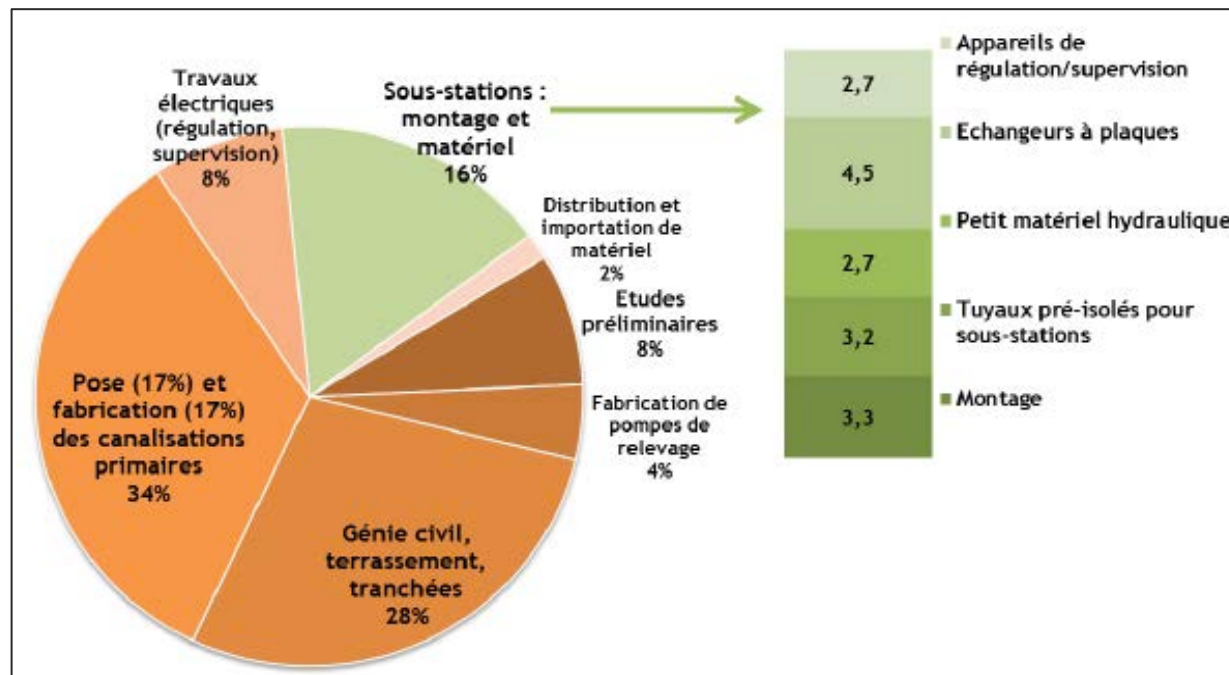
Coût de développement	Études de pré faisabilité, de faisabilité technico-financière, de plan et devis, et les coûts liés aux demandes de permis et autres. Ils sont en général de l'ordre de 8% en moyenne des coûts totaux de construction (voir Figure 14).
<b>Coûts de construction ou d'implantation (CAPEX) composés de :</b>	
Coûts d'équipement de production	Coûts reliés aux centrales de production thermique C1 et C2 (effluents et/ou fleuve). Ils se décomposent en trois segments principaux : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Le bâtiment abritant la centrale de production et incluant le centre de contrôle. Le coût inhérent sera dépendant de l'option choisie parmi celles explicitées dans la section 4.1 précisant le lieu et le type de gisement pouvant être exploité. Ce coût ne peut donc pas être renseigné à ce niveau d'analyse.</li> <li>○ L'échangeur de chaleur</li> <li>○ Les pompes à chaleur</li> </ul>
Coûts d'équipements de distribution	Coûts exprimés en \$/ml (mètre linéaire) et essentiellement liés à deux composantes : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Le diamètre et la composante isolante des canalisations Le diamètre est dépendant de la densité de bâtiments connectés (ou de population), de la densité thermique (MWh/ml/an), et aussi du potentiel d'expansion du réseau (prévision d'une future demande qui pourrait exiger un diamètre de tuyau plus grand). Ce coût inclut souvent la pose (temps humain, soudure, etc.)</li> <li>○ La longueur du réseau</li> </ul>
Coûts de génie civil	Coûts pour effectuer les tranchées, le terrassement, les connexions  Ce coût est contextuel et dépend de nombreux paramètres tels que la présence de réseau technique, le type de sol, la profondeur, etc.  Il peut être fortement influencé également par la présence d'une galerie multiréseaux, ce que nous verrons ci-dessous dans les coûts d'opportunité et section 7 dédiée)

Coûts de fonctionnement	<p>Encore appelé OPEX, ces coûts se décomposent généralement en deux catégories :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Coûts en combustible Ces coûts sont aléatoires dépendamment de la source d'énergie principale et de leur disponibilité. Dans le cadre de cette étude, les coûts en combustible serait nul car provenant de rejets thermiques ou du fleuve.</li> <li>○ Coûts connexes de fonctionnement Ces coûts inclus les salaires, les assurances, les impôts locaux si applicable, l'eau si applicable, les produits chimiques et d'entretien, l'électricité, le ou les contrats de services, etc. (coût non renseigné).</li> </ul>
Coût des projets d'extension	<p>L'extension du réseau vers d'autres secteurs limitrophes est une opportunité potentielle à étudier. Nous en ferons mention dans les recommandations. En termes financiers, elle est une stratégie de développement pouvant permettre de maximiser l'amortissement de la puissance installée dans les centrales.</p> <p>Les coûts d'une extension sont des coûts de matériel, de génie civil, d'augmentation de la production, etc. Ils sont dépendant de multiples paramètres et ne peuvent être estimés à ce niveau d'étude.</p> <p>Une volonté d'extension à moyen long terme aura un impact sur le diamètre des canalisations et donc sur les coûts de construction à court terme, les canalisations devant être prévues pour une future demande.</p>

#### Répartition des coûts par éléments du réseau

À titre informatif, nous avons placé la Figure 14 provenant de l'étude de la filière réseau thermique élaborée par l'ADEME en France en 2018 [4]. Ces coûts sont ceux du réseau faisant abstraction des coûts liés à la production d'énergie thermique dans la centrale, ceux-ci étant dépendant de la source d'énergie et/ou du combustible utilisé (une valorisation de rejets thermiques d'un incinérateur ne peut se comparer par exemple à celle des effluents !).

Figure 14 : Répartition des CAPEX selon les éléments de l'infrastructure (Source : ADEME, 2018 [4])



Note : Cette figure nous permet d'ores et déjà de voir qu'une GMR offrirait potentiellement une économie d'environ 30% dans les coûts d'implantation du réseau en retranchant la portion génie civil.

## 5.2 Estimations des coûts en équipements

Nous nous basons sur les données explicitées et développées par Atis Technologies (voir rapport annexé) pour évaluer les coûts d'équipements. L'annexe 8 donne un résumé des données utilisées ici.

### Longueur du réseau

Selon les figures 11 et 12, nous avons estimé très grossièrement une longueur de réseau d'environ 2 200m.

- Réseau chaud/froid (4<sup>e</sup> G), longueur de canalisation estimée à 4 x 2 200m = 8 800m
- Réseau eau mitigée (5<sup>e</sup> G), longueur de canalisation estimée à 2 x 2 200m = 4 400m

### 5.2.1 Coût de la centrale de production énergétique

#### Options disponibles pour la localisation de la centrale et coûts inhérents

Ne pouvant pas estimer les coûts liés au bâtiment, nous donnons quelques informations pouvant aider à élaborer le coût inhérent dans une phase d'étude subséquente.

- Localisation à la Station Craig
  - o Coût nul d'acquisition du bâtiment qui est de propriété municipale
  - o Coût à évaluer pour l'aménagement du bâtiment
  - o Coût de connexion au collecteur à évaluer (génie civil).
  - o Coût de connexion au fleuve à évaluer si le fleuve est choisi comme gisement (seul ou avec les effluents) (génie civil).
- Localisation dans un espace situé dans l'édifice Molson (espace Molson)
  - o Coût d'acquisition ou de location de l'espace au nouveau propriétaire (Groupe Sélection)
  - o Coût à évaluer pour l'aménagement du bâtiment
  - o Coût de connexion au collecteur à évaluer s'il y a lieu d'exploiter le gisement des effluents
  - o Coût de connexion au fleuve à évaluer si le fleuve est choisi comme gisement (seul ou avec les effluents). Ce coût disparaît si les infrastructures suspectées sont présentes et en état.

#### Installation mécanique (échangeur, tuyaux, PAC) – annexe 8

La section 4 a démontré qu'ayant choisi de délivrer la climatisation et devant dimensionner la mécanique de production énergétique pour répondre au besoin en froid (en période de pointe en été), nous devons prévoir des PAC permettant de fournir une puissance allant de 25 MW à 44.8 MW. À des fins de simplification et considérant les approximations faites, nous considérons une puissance nécessaire pour la centrale de 30 MW.

L'annexe 8, nous permet alors d'approximer le coût de la centrale à 24 M\$ en rappelant que ces valeurs ont été estimées sur la base du pire des scénarios de température pour le fleuve et les effluents, en été comme en hiver.

### 5.2.2 Coût des canalisations pour le réseau primaire de distribution

Les coûts des canalisations sont référencés par diamètre, par niveau d'isolation, etc. Les valeurs utilisées dans les prochains estimés incluent l'isolation et la pose mais pas les coûts de génie civil. Nous nous servons des données fournies en annexe 8 pour calculer le coût des canalisations.

*Réseau chaud/froid (4<sup>e</sup> G) avec ou sans centre de données :*

- Boucle d'eau chaude :  $\Delta T$  évalué à 35 °C ce qui donne un diamètre de tuyauterie de 14 po. Le coût d'un tuyau isolé de 14 po est estimé à 2 000\$/m.<sup>11</sup>  
Coût en tuyauterie :  $2\,000 \times 4\,400 = 8\,800\,000\$$
- Boucle d'eau froide :  $\Delta T$  évalué à 15 °C ce qui donne un diamètre de tuyauterie de 18 po. Le coût d'un tuyau isolé de 18 po est estimé à 2 300\$/m.  
Coût en tuyauterie :  $2\,300 \times 4\,400 = 10\,120\,000\$$

Coût total en canalisations isolées et posées pour un réseau 4<sup>e</sup> G = 18 920 000\$ soit 2 150\$/ml

*Réseau boucle eau mitigée (5<sup>e</sup> G)*

- Le  $\Delta T$  entre l'aller et le retour est évalué à 15 °C ce qui donne un diamètre de tuyauterie de 18 po. Le coût d'un tuyau isolé de 18 po est estimé à 1 725 \$/m<sup>12</sup>.  
Coût en tuyauterie :  $1\,725 \times 4\,400 = 7\,590\,000\$$

Coût total en canalisations non isolées et posées pour un réseau 5<sup>e</sup> G = 7 590 000\$ soit 1 725\$/ml

**Coûts totaux en équipements (centrale + réseau primaire) sans la portion génie civil :**

- Réseau chaud/froid (4<sup>e</sup> G) = 42 920 000\$
- Réseau boucle mitigée (5<sup>e</sup> G) = 31 590 000\$

---

<sup>11</sup> Provient des atlas des distributeurs de canalisation qui inclut la pose (fournit par Atis Technologies).

<sup>12</sup> Nous avons retiré 25% du coût linéaire du tuyau normalement isolé pour refléter le coût du tuyau non isolé



## 5.3 Coûts d'opportunité

Nous introduisons une notion de coût d'opportunité pour renseigner des opportunités pouvant réduire les coûts d'investissement et d'opération des réseaux. Nous en avons distingué trois :

### 5.3.1 Coût des sous-stations (réseau secondaire)

Les sous-stations font le pont entre le réseau primaire et le réseau secondaire qui fournit l'énergie dans les bâtiments et unités. Dans les réseaux 4<sup>e</sup> G, ces sous-stations consistent en des échangeurs de chaleur et des vannes de contrôle. Dans les réseaux 5<sup>e</sup> G, ces sous-stations incluent des pompes à chaleur locales qui augmentent ou diminuent le niveau de température puisque le réseau est à une température qui n'est pas utilisable directement.

Le coût des sous-stations peut être assumé, en partie ou en totalité, par les promoteurs immobiliers ce qui devrait se traduire en une diminution du coût d'investissement pour le promoteur du réseau avec une centrale moins puissante. Cependant, la fourniture en froid du réseau pour les besoins de climatisation font que le choix entre un réseau 4<sup>e</sup> G ou 5<sup>e</sup> G n'influence pas ou peu la puissance installée dans la centrale (entre 5 et 7 MW selon un scénario avec ou sans centre de données) et donc son coût.

### 5.3.2 Impact d'une galerie multiréseaux (GMR)

Une GMR est une infrastructure largement étudiée à Montréal et qui peut présenter de multiples intérêts pour un réseau thermique comme pour les autres ouvrages de génie civil tels que décrit dans la section 7.1. Ces avantages se traduisent en coût d'opportunité de par les économies réalisables à trois niveaux :

- Une diminution des coûts d'implantation des canalisations
- Une diminution des coûts de maintenance (facilité d'accès, meilleur contrôle)
- Une diminution de l'impact de l'amortissement (plus grande durée de vie de l'infrastructure)

Ce coût n'a pas été estimé du fait des nombreux paramètres endogènes et exogènes à considérer et encore inconnus à cette étape. Nous référons à la section 7.1 que nous avons développé spécifiquement pour traiter des GMR que nous pensons très opportunes pour le secteur et pour le projet de réseau thermique.

### 5.3.3 Coût de captation des gisements énergétiques (fleuve et effluents)

L'existence d'un accès au fleuve via le site Molson est un coût d'opportunité qui se mesure en économie de travaux d'infrastructure (ce que nous avons lié au coût du bâtiment ci-dessus).

Il ne pourra être évalué que si des informations concernant l'accès au fleuve via Molson ainsi que sur la disponibilité d'un espace dans le futur développement peuvent être obtenues (description des accès au fleuve, état des infrastructures présentes, disponibilité d'un espace pour implanter la centrale).

L'élaboration du coût d'opportunité pour la captation de l'énergie dans les effluents pourrait être réalisée avec le concours de la DRE qui sera en charge de concevoir le réseau d'égout local. Nous rappelons qu'une nouvelle conception du réseau d'égout pourrait permettre de prévoir une captation de l'énergie des effluents à un endroit stratégique (collecteur conçu spécifiquement et proche de la Station Craig ou de l'espace Molson et de l'intercepteur). Nous préciserons ce point dans les recommandations.

Nous désirons ici insister sur l'importance en termes de coût de considérer une étude spécifique sur la localisation des centrales de production énergétique (C1 et C2) qui est fonction de multiples critères à considérer :

- Extension potentielle du réseau
- Disponibilité des espaces nécessaires
- Coûts inhérents
- Faisabilité technique et consensus auprès des services de la ville
- Etc.

## 5.4 Sources de financement potentiel

Nous renseignons ici de manière succincte différentes sources de financement potentiellement opportunes pour soutenir les coûts d'investissement et aider au montage d'un plan financier (modèle d'affaire).

Nous ne donnons ici que les informations générales sur les subventions connues et existantes, et citons les autres sources.

#### 5.4.1 Subventions

Différentes subventions existent et peuvent être particulièrement opportunes. Par contre, les montants disponibles et pouvant être octroyés vont dépendre des modèles de gouvernance et d'affaires. Nous donnons ici les trois principales subventions que nous pensons opportunes :

##### 1. Entente bilatérale intégrée pour les infrastructures vertes (entente EBI)

Cette entente fédéral-provincial peut couvrir jusque 73% des coûts d'implantation du projet venant avec des conditions qui sont précisées en annexe 9. À cet effet, cette couverture des coûts d'implantation n'est offerte que si la ville est le promoteur du projet et à la condition que le palier provincial couvre 33% des frais.

La gestion de l'enveloppe dédiée consacrée à la valorisation des rejets thermiques (VRT) est assurée par TEQ – Transition énergétique Québec (points de contact : Sarah Cacoub, Stéphane Gagnon, coordonnées en annexe 1.bis)

La fenêtre d'opportunité est dépendante de l'enveloppe et des projets. Il semblerait y avoir une notion de « premier arrivé premier servi » pour les projets répondant aux critères. Nous ne savons pas en date de remise du rapport si cette entente sera renouvelée ou pas.

Les informations préliminaires récoltées auprès de TEQ à cet effet indiquent qu'à la fois l'énergie valorisée provenant des effluents et celle provenant du centre de données sont considérées dans les conditions d'admissibilité.

##### 2. Programme Écoperformance (gouvernement provincial, TEQ)

Écoperformance est un programme normé visant à soutenir les projets de réduction des émissions de GES, de consommation de combustibles fossiles, d'efficacité énergétique des bâtiments et des procédés, de réduction des émissions fugitives. Il est offert aux institutions, industries et municipalités.

Il dispose de différents volets opportuns<sup>13</sup> :

- Volet analyse qui peut couvrir à hauteur de 50% les coûts de développement avec des plafonds fixés par type d'étude effectuée (se référer au site Internet de TEQ)
- Volet implantation qui peut couvrir à hauteur de 75% des coûts d'implantation (équipements, génie civil, calibration, etc.) (se référer au site Internet de TEQ)

Écoperformance semble être approprié pour couvrir les 33% provenant du palier provincial qu'exige le palier fédéral dans le cadre de l'entente EBI.

### 3. Fonds municipal vert de la Fédération canadienne des municipalités (FMV/FCM)

La FCM est un organisme connu du milieu municipal via son outil FMV qui offre à la fois des solutions de financement de type subvention et immobilisation (prêt à taux avantageux). Les programmes offerts par la FCM sont nombreux et spécifiques au type de projet. Les réseaux thermiques font partie des infrastructures que le FMV considère dans ses offres de financement.

Il dispose de différents volets opportuns<sup>14</sup> :

- Volet étude qui peut couvrir à hauteur de 50% les coûts de développement avec un plafond fixé à 175 000\$. Étant donné les coûts relativement élevés des études à mener, cela peut sembler inadéquate. Mais une suite logique de demandes entre le volet étude et le volet immobilisation est un argument favorable aux yeux du FMV.
- Volet immobilisation qui est un prêt à taux avantageux et long terme accompagné généralement d'une subvention de 15% des coûts d'implantation.

Le FMV est réputé pour pouvoir adapter ses programmes selon le contexte et les spécificités du projet. Il est fortement recommandé d'entrer en contact avec l'équipe de gestion du fonds à cet effet.

---

<sup>13</sup> <https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/affaires/programmes/ecoperformance>

<sup>14</sup> <https://fcm.ca/fr/financement>

#### 5.4.2 Autres sources de financement potentiel :

- Accès à un fonds renouvelable ou dédié à la réduction des émissions de GES, à la résilience, etc.
  - o Fonds vert du gouvernement : étant donné le contexte politique autour du fonds vert, nous ne pouvons préciser quoi que ce soit quant aux chances de succès d'en bénéficier mais il est supposé être dédié à tout projet permettant la réduction des émissions de GES.
  - o Fonds d'investissement d'impact : Les fondations privées et/ou familiales sont dans une dynamique d'ouverture de leur fonds à l'investissement d'impact misant sur des projets aux retombées dans le triple rendement. Certaines de ces fondations ont des spécificités touchant l'énergie et la lutte au changement climatique (ex : Fondation familiale Trottier, Fondation McConnell pour citer des fondations basées au Québec).
- Banque d'infrastructures Canada  
Le gouvernement fédéral a créé cette banque en 2018 dont la mission vise, entre autres, le soutien à des projets d'infrastructures facilitant la transition énergétique et écologique. À cet effet, 5 milliards de dollars sont dédiés à des « projets visant les infrastructures vertes, y compris ceux qui permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre, qui favorisent l'assainissement de l'air et de l'eau, et qui encouragent l'utilisation de l'énergie renouvelable <sup>15</sup>»
- Les sources « classiques » sont des sources plus connues qui seront à considérer dans le montage financier du projet :
  - o Provision de la dette,
  - o Emprunt obligataire,
  - o Garantie des emprunts,
  - o Souscription, et
  - o Captation de la valeur foncière

---

<sup>15</sup> [www.infrastructure.gc.ca/CIB-BIC/index-fra.html](http://www.infrastructure.gc.ca/CIB-BIC/index-fra.html)

## 6 Analyse des options de propriété, de gouvernance et du cadre réglementaire

L'implantation d'un réseau de chaleur urbain est un projet d'envergure qui offre énormément de potentiel pour répondre à des enjeux environnementaux, sociaux, économiques et de développement municipal. En contrepartie, le développement d'un tel réseau présente plusieurs défis importants, notamment au niveau du financement, de la gestion des risques et de la disponibilité des expertises nécessaires à son succès.

Le choix d'un modèle d'affaires et d'un modèle financier doit permettre à la fois à la ville d'atteindre ses objectifs et d'assurer les capacités financières et techniques nécessaires à la réalisation du projet. Ainsi, le modèle d'affaires se situe à un point de rencontre entre divers besoins du projet :

- Besoin de contrôle de la ville pour assurer l'atteinte des objectifs visés (réduction des émissions de GES, tarifs énergétiques avantageux, amélioration de la résilience énergétique, développement urbain densifié, etc.)
- Besoin d'accès à des capitaux importants pour l'investissement initial
- Besoin d'un certain niveau de rentabilité pour assurer la viabilité financière du projet
- Besoin de nombreuses expertises spécifiques pour la gestion, la conception, la construction, l'opération et l'entretien du réseau.
- Besoin de gestion du risque financier, technique, légal, etc.

Dans le cas du secteur géographique visé par la présente étude, il existe également un enjeu d'échéancier qui doit être pris en considération dans le choix du modèle d'affaires. Certains projets de développements immobiliers dans le secteur sont déjà trop avancés pour être raccordés à une future boucle d'énergie (p.ex. : Maison de Radio-Canada, Portes Ste-Marie phase 1). **Un modèle d'affaires idéal devrait permettre une réalisation rapide pour éviter les pertes d'opportunités de raccordement au réseau.**

Il existe un très grand nombre de modèles et de variantes pour la réalisation d'un projet de réseau de chaleur urbain, chacun avec ses forces et ses faiblesses. Le choix d'un modèle d'affaire doit reposer sur un équilibre entre l'atteinte d'objectifs contraignants (émissions de GES, tarifs, etc.), le rendement financier et le niveau de risque acceptable pour la ville.

## 6.1 Modèles et partenariats de réseaux urbains de chauffage et climatisation

Plusieurs modèles existent pour les réseaux de chaleurs, impliquant plus ou moins le secteur public. Avant de définir le modèle le plus approprié au projet, il est important de comprendre tout d'abord le rôle clé du secteur public dans la mise en place de boucles thermiques d'une telle ampleur.

L'implication du secteur public offre plusieurs bénéfices, non négligeables, que nous résumons sous quatre angles :

### Une vision

Les institutions publiques possèdent une vision à long terme qui prend en compte les dimensions environnementales, économiques et sociales. Elle a aussi à cœur d'atteindre ses objectifs de résilience énergétique et écologique tout en maintenant une expertise locale et des emplois locaux durables.

### Une position privilégiée

Le secteur public a une position privilégiée pour rassembler les parties prenantes clés pour le projet. Elle peut assurer une collaboration accrue entre partenaires privés et publics. De plus, elle a la faculté d'agir comme consommateur constant et stable, et de fournir des contrats d'exploitation. Elle peut aussi assurer les synergies entre les équipements et infrastructures (ex : réseau thermique et galerie multiréseaux) et ainsi promouvoir des approches de génie urbain et créer une plus grande résilience dans la gestion des actifs municipaux et territoriaux.

### Une capacité de financement accrue

Le secteur public a la possibilité de lever du financement plus facilement grâce à un accès à du capital important ou à l'aide de subventions qui lui est spécifique.

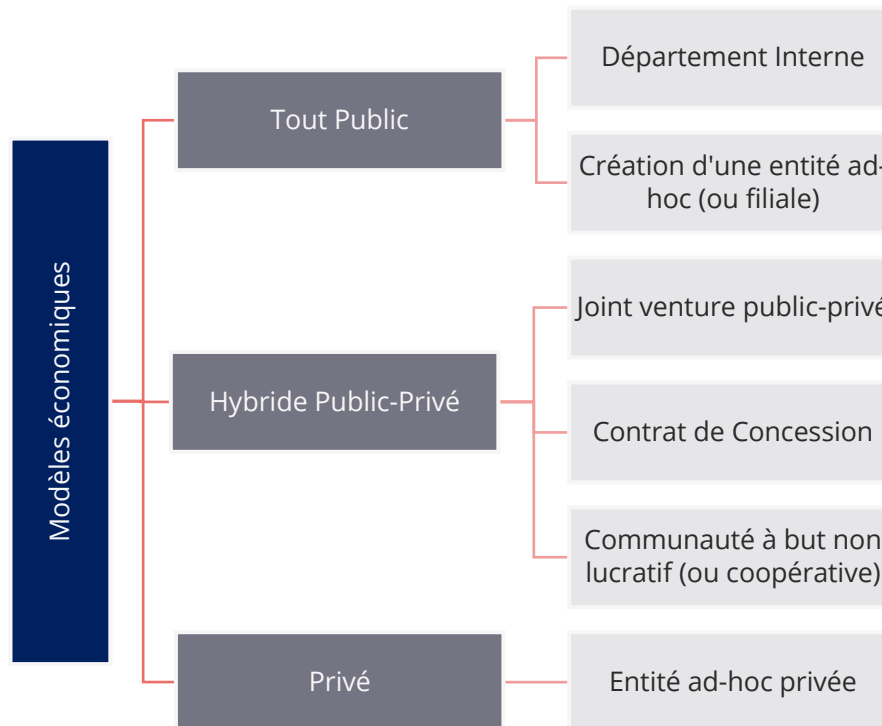
### Un levier politique

Le secteur public a la capacité de mettre en place des politiques et réglementations adaptées ou des campagnes de sensibilisation d'envergure pour faciliter l'adoption et le nombre de connexions au réseau et ainsi assurer la viabilité de l'infrastructure.

### 6.1.1 Types de modèles

Le graphique ci-dessous présente les différents types de modèles applicables au projet selon le niveau d'implication du secteur public souhaité.

Figure 15 : Modèles de gouvernance et économique





En vue de définir le modèle le plus approprié au contexte Montréalais, il est primordial pour la ville de répondre au préalable aux questions clés suivantes :

ÉLÉMENT	QUESTION CLÉ
1. Objectif du projet	Quel est l'objectif principal du développement de ce réseau urbain ?
2. Contrôle	Quel est le niveau d'implication souhaité et dans quels domaines (développement du réseau, tarifs, sources d'énergie, technologies, accessibilité, etc.)?
3. Capacité de gestion interne	Quelles sont les capacités internes pour prendre en charge la gestion du projet ?
4. Financement	De quel capital et de quelle capacité de financement disposent l'entité publique ?
5. Rendement financier du projet	Quel est le rendement financier anticipé pour les investisseurs? En prenant en compte le taux de rentabilité interne (TRI) et le coût moyen pondéré du capital.
6. Propension au risque	Quel est le niveau de risque acceptable pour la municipalité ?

## 6.1.2 Description des modèles

### 6.1.2.1 Modèle "tout public"

Dans ce modèle, le réseau urbain est détenu, opéré et contrôlé par une entité gouvernementale, soit la ville de Montréal dans le cas présent. Le projet peut être développé à l'interne au sein d'un des services de la ville ou à l'externe avec la création d'une entité séparée ou d'une filiale.

Selon notre revue de littérature, la plupart de ces projets sont développés à l'externe, à l'exception de projets de très petite taille pour lesquels la création d'une entité pourrait engendrer des coûts administratifs trop importants. Les avantages principaux d'une telle séparation sont :

- L'identification claire de l'activité;
- La facilitation d'une possible revente future au secteur privé;
- La limitation de la responsabilité financière de la ville;
- L'accélération des processus de prise de décision et amélioration de la transparence.

Information des éléments du modèle :

<b>Objectifs principaux</b>	Projet qui vise des objectifs sociaux, environnementaux ou de résilience énergétique.
<b>Contrôle</b>	Le secteur public possède un contrôle total sur le projet, ce qui facilite la prise de décision pour l'adoption des objectifs principaux.
<b>Financement</b>	Projet entièrement financé par la ville à l'aide des fonds publics, de la dette publique, commerciale ou la dette mixte.
<b>Risque</b>	Tout le risque est assumé par la ville ou par l'entité municipale distincte qui a été créée. Les risques associés à la conception, la construction ou l'exploitation peuvent être partiellement mitigés si ces parties sont réalisées en sous-traitance.
<b>Gouvernance</b>	Si le projet est effectué avec une entité externe, un comité de directeurs représentatifs de la ville se chargera de superviser le projet. Une autre de ses tâches visera aussi à contrôler les tarifs énergétiques.

#### **Étude de cas : South Est False Creek Neighbourhood Energy Utilities (SEFC NEU) – Vancouver**

La ville de Vancouver a investi dans un réseau de chaleur urbaine pour la communauté dans la zone sud-est de False Creek qui est en opération depuis 2010. L'objectif de départ de la construction de ce réseau est le redéveloppement d'une ancienne zone industrielle en une communauté mixte incluant le village des athlètes des jeux olympiques d'hiver de 2010, le tout intégré dans une politique de réduction des GES.

Le réseau était originellement basé sur la captation de la chaleur résiduelle d'une station de pompage et inclut aujourd'hui plusieurs sources d'énergie renouvelable.

Le choix du modèle a principalement été motivé par la nécessité d'agir rapidement en raison de l'ouverture du village olympique et du fait que la ville de Vancouver pouvait financièrement supporter un tel projet. De plus le réseau a été développé avec la volonté d'en faire un projet pilote.

**Contrôle :** La ville possède le contrôle total du système. Une des mesures qu'elle a donc pu mettre en place est de fournir aux propriétaires de la zone une transparence totale sur les tarifs pour démontrer la compétitivité des tarifs sur le marché et donc rassurer les propriétaires.

**Financement :** Le projet a coûté \$32 Millions à la mise en place. Ce montant a été entièrement financé par la dette que la ville a pu lever grâce à son accès au crédit ((structure des taux de la dette : 60% dette, 40% fonds propres).

**Gouvernance :** La gouvernance est intégrée dans la structure organisationnelle de la ville de Vancouver, à même le département qui a la responsabilité de gérer le réseau.

### 6.1.2.2 Modèle hybride public/privé

Dans ce modèle, le réseau urbain est détenu, opéré et contrôlé par un partenariat entre des entités publiques et privées. Généralement, le secteur public possède toujours une forte implication dans le projet, mais collabore avec le secteur privé pour ajouter une expertise spécifique ou du capital. Ce type de modèle est possible lorsque le rendement financier est suffisamment attrayant pour un investisseur privé. L'avantage de ce partenariat est de combiner les expertises et forces de chaque entité, mais il ajoute un niveau de complexité au moment de définir des objectifs communs et de décider des stratégies pour les atteindre. Plusieurs variations de ce modèle sont possibles; nous présentons ci-dessous les deux possibilités les plus pertinentes pour ce projet.

#### A. Joint-venture (co-entreprise) public et privée

Ce type de co-entreprise est fondé sur la coopération entre une ou plusieurs entreprises privées et le secteur public. Cette coopération peut se traduire par la création d'une entité séparée comme une succursale ou une société. Le principal avantage de cette entente est la fondation d'une réelle complémentarité des compétences accompagnée d'un partage des charges, investissements et risques du projet. Ces contrats sont très souvent à durée déterminée et une fois l'échéance arrivée, il est possible de prolonger le statut quo, de vendre sa part au partenaire ou à d'autres parties privées, ou de racheter la part du partenaire pour que le projet devienne tout public.

<b>Objectifs Principaux</b>	multiples objectifs qui peuvent toucher plusieurs domaines tels que l'environnement, la rentabilité ou encore la recherche et développement.
<b>Contrôle</b>	Le contrôle est partagé entre le secteur public et privé à hauteur de l'implication de chacun dans le projet.
<b>Financement</b>	Projet financé par la ville, tout comme le modèle « tout public » mais dans une moindre mesure. La part de l'investissement privé influencera directement le niveau du contrôle du projet par la ville.
<b>Risque</b>	Les risques associés au projet sont partagés. Le secteur public a la possibilité d'assumer une partie du risque commercial en garantissant la signature des contrats à long terme de consommation d'énergie et peut créer un cadre réglementaire favorable au réseau. Le secteur privé se charge généralement des risques d'exploitation, construction et conception.

## Gouvernance

Deux types se distinguent :

- *Modèle d'actifs combinés* : les différents acteurs combinent leurs compétences par le biais d'une entreprise unique ou d'un service public. Dans ce cas, la gouvernance passe par un conseil de directeurs désignés par chaque partenaire. La représentation par le conseil reflète le partage de propriété.
- *Modèle d'actifs distincts* : compétences séparées entre les différentes parties prenantes, chacun se chargeant de sa compétence (contrats à signer qui définissent chaque rôle et tarif).

### Étude de cas : Enwave Energy Corporation – Toronto

Le réseau du Toronto District Heating Corporation (TDHC) opéré aujourd'hui sous Enwave Energy Corporation a tout d'abord été créé sur le modèle « tout public ». Cependant, la volonté d'investir dans des technologies plus innovantes a poussé la ville à faire une transition vers un modèle hybride qui lui permettait de contourner la législation et d'aller chercher plus de capital pour mener à bien cette vision.

Grâce à la création d'Enwave, l'idée d'utiliser le puit de gisement d'eau potable dans les eaux du lac Ontario comme source de refroidissement est devenue une réalité.

**Contrôle** : Les parts de la société étaient détenues par la ville de Toronto à 43% et par le fond de pension « Ontario Municipal Employees Retirement System (OMERS) » à 57%. Le contrôle du réseau par ces deux entités était alors réparti de manière proportionnelle.

**Financement** : Emprunts obligataires publics et privés entre la ville et OMERS.

**Gouvernance** : Modèle d'actifs combinés. Les deux entités propriétaires ont désigné un conseil de directeurs.

Note : Aujourd'hui, le modèle a été vendu à l'entreprise Brookfield Asset Management qui continue d'opérer le réseau sous le nom d'Enwave.

## B. Contrat de concession

Dans ce modèle, la ville développe la conception initiale, conduit une étude de faisabilité puis si celle-ci est concluante, la présente au secteur privé (souvent à des entreprises de services énergétiques). Un contrat de concession est alors émis incluant toutes les conditions jugées nécessaires par la ville (tarifs, objectifs environnementaux, etc.). À partir du

début du contrat et jusqu'à sa fin, l'entreprise privée a la charge exclusive du réseau. Il est donc primordial de définir un encadrement strict dès le départ. Le contrat de concession peut aussi être donné à une entité ad-hoc public-privé qui peut permettre à la ville de garder un certain contrôle sur les décisions qui affectent le réseau, selon son niveau de participation dans l'entité.

Ce type de modèle est particulièrement pertinent lors de projets de réaménagement où les routes servent également de routes au réseau et où les bâtiments sont connectés au réseau. Dans ce cas, la ville peut définir le projet, mais laisser le financement, la construction et l'exploitation en concession. Elle peut ensuite récupérer la gestion du réseau à la fin de la période contractuelle ou mettre en place une nouvelle concession. Le principal avantage de ce modèle réside dans le fait que le secteur public peut décider de reprendre le contrôle total du projet à la fin du contrat de concession, ou redéfinir les termes d'un futur contrat.

**Objectifs Principaux** Multiples objectifs qui peuvent toucher plusieurs domaines tels que l'environnement, la rentabilité ou encore la recherche et développement.

**Contrôle** Le secteur public possède un contrôle limité pendant la durée du contrat avec le concessionnaire. L'entreprise gestionnaire est en charge de la totalité des décisions, mais certaines conditions peuvent être négociées à la signature du contrat, comme par exemple la mise en place de balises tarifaires.

**Financement** Le financement du projet peut varier selon la capacité financière de l'entreprise retenue. Certaines ESCO ou entreprises énergétiques peuvent avoir accès à des fonds importants et peuvent se charger du projet dans son ensemble, mais la ville peut contribuer à réduire la mise de fond (en mettant des terrains à disposition par exemple) et elle peut aider à réguler les tarifs énergétiques (en offrant des subventions ou en participant au financement par exemple).

**Risque** Le risque est toujours partagé. L'entreprise privée ou le service public qui détient la concession supporte les risques de construction et d'exploitation et la présence de la ville permet de réduire les risques associés à l'approbation du projet. Cependant, une part des risques est toujours supportée par la ville car le réseau lui revient à la fin du contrat.

Afin de rendre le projet plus attrayant, la ville s'engage souvent sous forme contractuelle à assurer un niveau de clientèle minimum, par exemple en garantissant la connexion de bâtiments publics ou en imposant un cadre réglementaire favorisant la connexion des bâtiments.

## Gouvernance

La gouvernance revient au concessionnaire pour la durée du contrat, elle sera donc entièrement privée ou partagée dans le cas où il s'agit d'une entité publique/privée.

### Étude de cas : Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain (CPCU) – Paris

La ville de Paris a développé en 1927 un réseau de chaleur urbain en métropole parisienne qui livrait la vapeur aux bâtiments de la zone d'opération. La centrale a commencé à diversifier ses sources d'énergie dans les années 2000. Le réseau de chauffage est opéré sous contrat de concession par la CPCU qui est aujourd'hui une filiale d'ENGIE.

Avec 4 238MW de puissance souscrite en 2018, elle comprend 45% des logements sociaux et bâtiments publics de la ville, 40% du tertiaire, 15% des résidentiels privés et 100% des hôpitaux de la ville.

La ville de Paris fournit également du refroidissement depuis 1991 au travers d'un contrat de concession avec CLIMESPACE qui est aussi une filiale d'ENGIE. Le réseau de refroidissement utilise notamment l'eau de la Seine dans leur système.

**Contrôle :** La ville détient une part de 33% de la CPCU qui lui permet de garder un certain contrôle du réseau. Cette combinaison lui permet, entre autres, de veiller à l'inclusion des logements sociaux dans la zone ou de proposer des objectifs environnementaux ambitieux. Cependant, elle reste actionnaire minoritaire et ne peut décider seule de la marche à suivre.

**Financement :** Les boucles de chauffage et de refroidissement ont été toutes les deux financées majoritairement grâce au secteur privé au travers de l'entreprise ENGIE.

**Gouvernance :** Pour le chauffage, elle est assurée par la CPCU où la ville siège comme actionnaire minoritaire. Le contrat de concession définit des règles précises, dont notamment une limite de prix maximum pour le chauffage qui est indexée sur la part de chaleur renouvelable produite. Pour le refroidissement, elle est assurée par CLIMESPACE mais la ville de Paris a la possibilité de réviser annuellement les objectifs du réseau en partenariat avec le concessionnaire.

### 6.1.2.3 Modèle privé

Dans ce modèle, le réseau urbain est détenu, opéré et contrôlé par le secteur privé. Cette option n'est généralement envisageable que si le retour sur investissement est largement favorable. Ce modèle n'est pas totalement détaché du secteur public car celui-ci peut toujours encourager l'adoption au réseau, mettre en place des politiques favorables ou encore agir comme régulateur.

Objectifs Principaux	Le principal objectif est souvent financier. L'appui de la ville peut aussi encourager le projet à s'inscrire dans une vision plus globale incluant par exemple des cibles de réduction de GES
Contrôle	Le secteur privé possède un contrôle total sur le projet incluant le choix de la structure de gouvernance.
Financement	Projet entièrement financé par l'entreprise propriétaire du réseau.
Risque	Le risque est assumé par le secteur privé. Cependant, il est important de noter qu'un accord de coopération entre l'entreprise privée et le secteur public peut être signé au préalable pour assurer un appui de la ville au projet en échange de différents types de bénéfices pour la ville (p.ex. : bénéfices environnementaux et sociaux, tarifs réduits pour certaines catégories de clients)
Gouvernance	L'entité privée est responsable du choix des entités présentes sur le conseil décisionnel. Elle peut décider d'inclure ou non le secteur public dans ces décisions. Cet aspect peut être ajouté à l'accord de coopération pour assurer à la ville d'avoir un rôle (même mineur) dans les délibérations.

#### Étude de cas : Énergir Chaleur et Climatisation Urbaine (ECCU) – Montréal

Développé au préalable pour répondre aux besoins du Canadien National (CN), la ECCU (auparavant, la CCUM) est aujourd'hui détenu et opéré à 100% par ÉNERGIR et fournit 145MW de chaleur, 2MW de froid et 2MW électrique.

Bien que le réseau soit aujourd'hui sous le contrôle total d'Énergir, il a été initialement développé et financé par la CN. Il a ensuite été agrandi sous un modèle coopératif entre les propriétaires des premiers bâtiments raccordés, avant le rachat par Gaz Métro en 1996).

**Contrôle :** Le réseau est entièrement privé et sous le contrôle d'Énergir qui en assume toutes les responsabilités.

**Financement :** Le financement de la construction initiale a été assuré par le CN et les partenaires privés possédant les bâtiments à raccorder. Aujourd'hui, Énergir est responsable d'obtenir le financement requis pour les projets d'amélioration et d'agrandissement.

**Gouvernance :** La gouvernance revient au service responsable d'ECCU au sein d'Énergir.

### 6.1.3 Modèles d'affaires : Vue d'ensemble

Chaque modèle présenté précédemment possède ses forces et faiblesses. Le choix du modèle dépend des objectifs et des capacités de la ville. Le tableau ci-dessous résume les différences majeures entre les différentes configurations possibles.

Type de modèle	Degré de contrôle de la ville	Séparation stricte avec les dépenses municipales	Niveau de Risques encourus par la ville	Accès au financement public	Rapidité d'exécution (au lancement)	Rapidité d'exécution (opérations)	Expertise technique	Rentabilité financière minimum requise
<b>TOUT PUBLIC</b>								
Service interne	●	○	●	●	●	○	◐	○
Entité ad-hoc	●	●	●	●	●	◐	◐	○
<b>PUBLIC-PRIVÉ</b>								
Co-entreprise	◐	● / ○	◐	◐	◐	◐	●	◐
Contrat de concession	◐	● / ○	◐	◐	◐	●	●	◐
<b>PRIVÉ</b>								
Privé	○	●	○	○	◐	●	●	●

- Élevé ou *total*
- Faible ou nul
- / ○ L'un ou l'autre dépendamment du montage



## 6.2 Modèles financiers

Comme souligné précédemment, la viabilité financière du projet a un impact majeur sur le choix du modèle d'affaire et la réussite du projet. Une analyse financière approfondie est donc une étape clé du processus et doit être représentative de plusieurs perspectives incluant investisseurs, promoteurs, gestionnaires et municipalités.

Cette section vise donc à définir les paramètres clés à considérer lors de l'analyse financière et à mettre en lumière les barrières potentielles qui peuvent nuire à la faisabilité d'un projet.

### 6.2.1 Structure du modèle financier

Bien que l'implication du secteur public dans un tel projet puisse être aiguillée par des objectifs sociaux ou environnementaux, la décision des partenaires potentiels est essentiellement guidée par les perspectives économiques. Il est donc primordial de développer dès le début du projet un modèle financier robuste et exhaustif.

Les modèles d'analyse financière incluent un nombre important de paramètres déterminants pour la faisabilité du projet, habituels ou spécifiques, aux boucles énergétiques. Nous les avons divisés ici par catégorie :

#### Flux entrants et sortants du modèle

REVENUS	DÉPENSES	AUTRES
Vente d'énergie et de puissance (portion fixe vs portion variable)	Coûts de construction initiaux	Taux d'indexation des tarifs
Subventions : Fédérales, provinciales, municipales, FCM, etc.	Coûts de construction de développements futurs (ex : agrandissement du réseau, raccordements)	Taux d'inflation des dépenses
Facturation de services supplémentaires liés aux opérations	Coûts de production et de distribution d'énergie	Rendement souhaité
Frais de raccordement au réseau	Coûts d'exploitation et d'entretien	Durée de l'analyse financière
	Coûts de gestion : Mesurage, facturation, administration	
	Coûts de maintien d'actif	
	Frais de financement : Paiement d'intérêt sur la dette (incluant celle de nouveaux investissements)	

L'objectif de la liste ci-dessus est de fournir un point de départ à l'analyse ; des paramètres supplémentaires peuvent être ajoutés au besoin. La capacité de la ville à avoir un impact positif sur certains de ces paramètres, le partage des coûts entre secteurs privés et publics et les taux de rentabilité interne (TRI) obtenus pour chaque partie prenante sont autant de critères qui doivent être minutieusement examinés. Bien sûr, d'autres caractéristiques propres à chaque investisseur seront également à prendre en compte tel que le ratio dette/capital propre et le niveau de risque qui leur est acceptable.

À la suite de cet exercice, les rendements obtenus vont permettre d'évaluer la possibilité pour la ville de faire appel à des partenaires privés. Ces conclusions permettront de diriger la discussion sur le choix du modèle d'affaire. En effet, un rendement relativement faible par exemple peut induire le choix d'un modèle tout public ou peut indiquer le besoin pour l'entité publique d'intervenir sur un ou plusieurs des paramètres pour améliorer la TRI des investisseurs. En d'autres termes, le modèle financier informera le niveau d'effort requis par la ville pour mener à bien le projet et assurer son succès financier à long terme. Il va donc sans dire que la qualité de l'analyse est un élément indispensable à la réussite du projet.

La tenue d'une étude de faisabilité détaillée est ainsi une étape initiale incontournable à l'implantation d'un réseau de chauffage et de refroidissement.

### 6.2.2 Facteurs influant sur la rentabilité

La rentabilité d'un projet de réseau thermique peut être limitée par de nombreux facteurs qui ne sont pas forcément captés par les analyses financières. Leurs impacts ne doivent pas être sous-estimés car ils peuvent compromettre la viabilité du projet.

- *Contraintes technologiques*

Certaines technologies prometteuses pour les réseaux thermiques ne sont pas encore à maturité technologique, ou alors l'expertise pour leur conception, opération et entretien est rare ou inexistante dans le marché local. Plus le système est innovateur et plus les risques de dysfonctionnement et de frais additionnels sont à prévoir.

- *Contraintes tarifaires*

Définir les tarifs de revente d'énergie s'avère souvent complexe et les tarifs applicables peuvent parfois limiter les revenus au point de rendre le projet non viable.

- *Contraintes réglementaires*

Les gestionnaires du projet doivent être au courant des réglementations en vigueur dans le secteur envisagé. Un contexte réglementaire défavorable est un obstacle majeur au développement du réseau. Dans le contexte environnemental, une contrainte de plus en plus récurrente à prendre en compte est celle qui limite les émissions de GES.

- *Développement du réseau et croissance de la clientèle*

Le manque de vision à long terme et une planification bâclée peuvent limiter les perspectives de croissance du projet.

### 6.2.3 Leviers d'action spécifique au secteur public affectant la rentabilité

À l'opposé, le secteur public dispose de plusieurs leviers auxquels il peut faire appel pour améliorer la rentabilité ou l'attractivité d'un projet aux yeux de partenaires privés.

#### **Amélioration directe de la rentabilité**

Plusieurs stratégies peuvent directement influencer le TRI d'un projet au travers d'incitatifs financiers et fiscaux. En voici quelques exemples :

- Versement de subventions
- Financement à des taux d'intérêt plus faibles
- Émission d'obligations générales
- Garantie de prêts et de souscription
- Crédits ou exemptions d'impôts ou de taxes
- Réduction des frais de permis

#### **Réduction du niveau de risque**

D'autres stratégies font en sorte de réduire les risques associés au projet et à l'investissement, permettant potentiellement de réduire le taux de rendement exigé par les partenaires financiers du projet.

- Garantie d'un niveau de charges de chauffage/climatisation grâce à la participation assurée d'un parc de bâtiments (publics ou privés), ou grâce à une politique de connexion au réseau thermique

- Contributions de la ville / gouvernement du Québec :
  - Promotion du réseau
  - Prise en charge de certains investissements (p.ex. : travaux de génie civil pour le réseau de distribution)
  - Règlementations favorisant l'utilisation de la boucle (exigences d'efficacité énergétique ou de carboneutralité, exemptions de certaines exigences ou bonus pour les développements raccordés, etc.)
- Planification à long terme avec des politiques d'expansion et des stratégies de valorisation foncière basées sur le développement
- Soutien aux nouvelles technologies utilisant des sources gratuites (métro, égout, fleuve) au travers de projets pilotes ou d'études de faisabilité

### Les avantages du secteur du PPU des Faubourgs

Le secteur du PPU des Faubourgs visé par cette étude présente des caractéristiques qui peuvent réduire significativement les risques d'un projet de boucle thermique :

- Construction de nombreux bâtiments neufs d'envergure dans un horizon court terme, qui sont autant d'opportunités de clients pour le réseau;
- Secteur central de la ville qui aura une densité élevée d'occupation du territoire;
- La ville effectuera d'importants travaux pour modifier et bonifier le réseau routier dans le secteur, permettant une synergie avec la construction de la boucle thermique (enfouissement de la tuyauterie de distribution, galeries multiréseaux);
- Présence de gisements thermiques importants directement sur le site ou à proximité : effluents et fleuve
- L'utilisation du réseau d'eaux usées ou du rejet de chaleur d'un centre de données comme source d'énergie principale pour la boucle pourrait permettre d'obtenir des incitatifs financiers importants dans le cadre de l'entente bilatérale intégrée survenue entre le gouvernement du Québec et le gouvernement du Canada sur la valorisation des rejets thermiques (les paramètres détaillés d'application de cette entente sont en cours de définition).

### 6.3 Conclusions

De nombreux facteurs influencent le choix du modèle et il est crucial de les évaluer au cas par cas car chaque contexte est unique. La première étape d'analyse consiste à fournir des réponses aux questions clés énoncées précédemment. Nous fournissons ici notre meilleure interprétation des priorités et capacités de la ville de Montréal.

QUESTIONS CLÉS	RÉPONSE PRÉLIMINAIRE
<p>Quel est l'objectif principal du développement de ce réseau urbain ?</p>	<p>Selon notre compréhension, la boucle énergétique vise principalement les 3 objectifs suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La réduction des émissions de GES / carboneutralité</li> <li>• La résilience face aux changements climatiques et ses effets</li> <li>• La gestion de la pointe électrique</li> </ul> <p>Mentionnons également l'importance de maintenir des tarifs énergétiques compétitifs pour assurer la viabilité de la boucle et son acceptabilité.</p>
<p>Quel est le niveau d'implication de la ville souhaité ?</p>	<p>Considérant les objectifs énoncés ci-dessus, la ville devra maintenir un niveau d'implication élevé, surtout durant la phase de conception. Une implication soutenue de la ville serait par ailleurs souhaitable pour assurer le maintien de la vision initiale dans le développement subséquent du réseau et maintenir une tarification compétitive. L'implication de la ville pourrait être réduite en contrepartie de contraintes clairement définies pour un partenaire privé (à travers des contrats de concession définissant les paramètres à respecter, par exemple).</p>
<p>Quelles sont les capacités internes de la ville pour prendre en charge la gestion du projet ?</p>	<p>Bien que la ville serait assurément en mesure de gérer certains aspects du projet, la participation de partenaires privés ayant développé une expertise dans les projets de boucle réduirait significativement les risques associés au projet.</p>
<p>De quel capital et de quelle capacité de financement dispose la ville ?</p>	<p>À déterminer par la ville de Montréal.</p>
<p>Quel est le rendement financier anticipé du projet ?</p>	<p>Les contraintes imposées au projet en termes d'émissions de GES, de résilience énergétique, de gestion de la pointe électrique et de tarifs de vente d'énergie vont exercer une forte pression à la baisse sur le rendement financier potentiel. À l'opposé, des incitatifs financiers importants pourraient être disponibles selon le type de projet et la propriété du projet (notamment via l'entente EBI entre le gouvernement fédéral et le gouvernement du Québec). Globalement, nous prévoyons un rendement relativement faible pour un partenaire privé potentiel, ce qui devrait être compensé par une réduction importante du niveau de risque pour ce partenaire ou par une participation financière plus importante de la ville.</p>
<p>Quel est le niveau de risque acceptable pour la ville ?</p>	<p>À déterminer par la ville de Montréal.</p>

## 7 Génie urbain & Synergies potentielles

Cette section vise à analyser à haut niveau des synergies et co-bénéfices potentiels entre le réseau thermique et des infrastructures ou équipements de type galerie multiréseaux et chauffage des trottoirs/chaussées.

### 7.1 Galerie multiréseaux

La question, dans le cadre de ce mandat, est de savoir si une GMR est opportune ou pas pour le secteur et pour le réseau thermique, sachant que cette infrastructure nécessite de gros investissements en immobilisation (CAPEX), ce que nous traitons ci-dessous.

#### 7.1.1 Qu'est-ce qu'une galerie multiréseaux ?

Les informations proviennent des travaux du CERIU et du Guide pratique des multiréseaux [5], une référence pour ce type d'infrastructures.

Une galerie multiréseaux est un « ensemble de réseaux regroupés dans un même volume visitable, afin de mieux les gérer, les suivre et les entretenir » [5].

Une GMR telle qu'illustrée à la figure 16 peut contenir les réseaux d'eau (égout et aqueduc), les réseaux techniques (téléphone, câble, fibre optique) et les réseaux d'énergie (électrique, gaz, réseau thermique).

La construction d'une GMR, en béton préfabriqué par exemple, vise à faciliter les conditions d'entretien et d'intervention (maintenance). Les GMR peuvent être viables économiquement comparativement aux méthodes traditionnelles, lorsque l'on prend en considération la durée de vie de l'ouvrage et dépendamment du modèle d'affaire élaboré pour se faire.

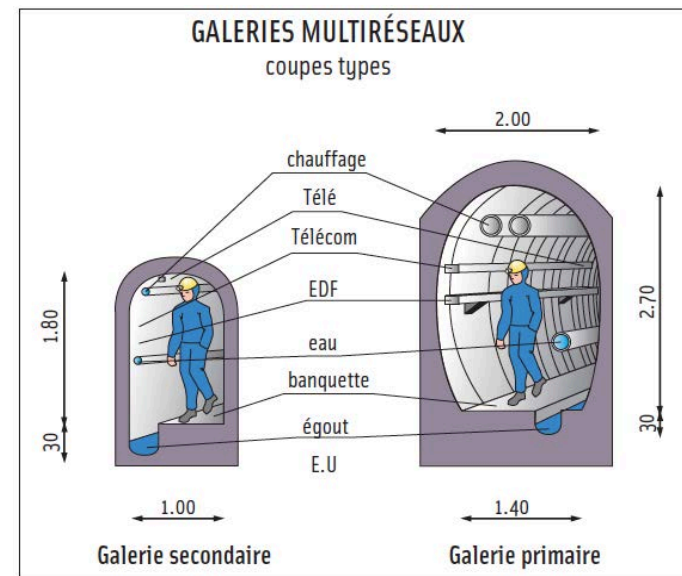


Figure 16 : Coupe type d'une GMR (Source : [5])

Il s'agit d'une infrastructure contribuant à l'implantation de la durabilité et de la résilience d'une ville et du secteur où elle est implantée du fait des nombreux avantages qu'elles offrent et que nous résumons ici<sup>16</sup> :

- Accessibilité des réseaux
- Augmentation de la fiabilité et de la durabilité des réseaux (résilience)
- Flexibilité liée au développement
- Réduction des excavations dans les infrastructures de voirie et Réduction des travaux civils subséquents initiés par les RTU (bénéfices majeurs)
- Observation totale des réseaux (réduction des besoins de localisation)
- Organisation de l'espace souterrain (optimisation, évolution)

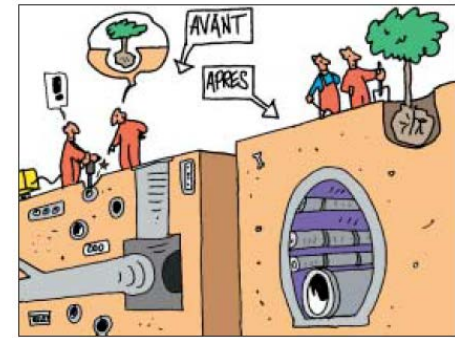


Figure 17 : Bénéfices accessoires.

### 7.1.2 Opportunités identifiées et acquisition d'informations et de données

Le secteur à l'étude est prévu pour être requalifié ce qui entrainera des interventions majeures sur les infrastructures urbaines de type voirie, canalisations égouts et aqueducs, réseaux techniques en lien avec la haute densification prévue. Cet état de fait amène à considérer l'opportunité d'implanter une galerie multiréseaux devant les multiples avantages que cet équipement peut offrir.

À cette fin, nous avons communiqué avec le CERIU qui nous faisait part des travaux exploratoires ayant eu lieu ou actuellement en cours à Montréal concernant les GMR dont un consistant à identifier les paramètres à considérer pour caractériser l'opportunité d'implanter une GMR.

De commun accord avec l'arrondissement, Serge Boileau, directeur général de la Commission des services électriques de Montréal (CSEM), et Michel Saindon, consultant (CERIU, Ville de Montréal), nous avons convenu qu'il est primordial que les équipes évoluant sur les deux démarches actuelles (réseau thermique et les GMR à Montréal) corrélient leurs travaux pour le secteur à l'étude. **À cette fin, il a été demandé à l'université de Concordia d'analyser le secteur à travers leurs critères et leur processus d'analyse.**

---

<sup>16</sup> Tirés de la présentation des GMR offerte par le CERIU

### 7.1.3 Résultats de l'analyse d'opportunité

Les critères utilisés pour l'analyse et les résultats sont présentés dans le rapport de l'Université de Concordia annexé. Les résultats ont été placés en annexe 11.

Les scores obtenus sont en général très encourageants, en particulier concernant le tronçon sur le boul. René Lévesque (0,69) et le boul. De Lorimier (0,64), quoique moins pour le tronçon concernant la rue Notre-Dame.

À titre de comparaison et selon les informations fournies par le chargé de projet Michel Saindon sur les études de GMR commandées par la ville de Montréal, les résultats obtenues pour la rue Sainte-Catherine et la rue Ottawa à Montréal se chiffraient aux alentours de 0.8 (maximum de 1), soit d'excellents résultats en dépit des coûts inhérents.

Par contre, les critères retenus le sont pour le secteur dans l'état actuel et non le secteur projeté une fois les développements immobiliers terminés. La concentration d'édifices (haute densité et compacité) et la réfection des réseaux d'égouts afin d'y développer les réseaux dits locaux **augmenteront notablement les résultats de l'analyse rendant d'autant plus opportune l'implantation de cette infrastructure.**

### 7.1.4 Conclusions

Nous sommes d'avis qu'il y a un grand potentiel d'intégration et de synergie entre une GMR et un réseau thermique, indépendamment du type de réseau thermique. Les bénéfices d'une telle intégration sont directs :

- Diminution des coûts d'implantation pour la GMR comme pour le réseau thermique du fait des travaux de génie civil prévu dans le secteur
- Diminution des coûts d'opération pour l'ensemble des réseaux incluant le réseau thermique
- Possibilité pour le réseau thermique d'alimenter en chaleur la GMR, qui doit être maintenue à une température d'environ 15 °C
- Prolongation de la durée de vie des équipements facilitant la viabilité à long terme des infrastructures
- Flexibilité pour prévoir une extension du réseau thermique



Ces bénéfices n'ont pas été évalués dans le cadre de cette étude, et nous n'avons comparé le scénario avec d'autres projets du même type dans le monde du fait des nombreuses incertitudes et spécificités du secteur qui rendraient caduque toute comparaison.

À la lecture des informations reçues, nous pensons qu'il est opportun de combiner les études des deux projets d'infrastructures et d'intégrer la ou les divisions de la ville de Montréal qui ont commandé les études auprès du CERIU dans l'équipe de projet. Nous le mentionnerons dans les recommandations.

## 7.2 Trottoirs et chaussées chauffants

L'idée de chauffer les trottoirs et les chaussées n'est pas nouvelle mais a très rarement atteint l'étape de mise en œuvre pour des raisons essentiellement de coûts et de contraintes.

Nous présentons cette option très sommairement et à titre informatif, des bénéfices pouvant s'avérer opportun pour le secteur à l'étude.

### 7.2.1 Qu'est-ce qu'un trottoir et une chaussée chauffante ?

Le principe de chauffer trottoir et chaussée consiste à faire circuler de l'eau (ou un mélange glycolé) dans un réseau de tubulure déposé à même le béton ou le pavé composant les trottoirs ou à même l'asphalte qui compose la chaussée.

Ces systèmes existent essentiellement à l'échelle résidentielle (descente de garage), ou sur les pistes d'aéroport. Mais il existe de plus en plus de projet à l'échelle urbaine. Reykjavik chauffe ses trottoirs grâce à l'énergie géothermique, la ville d'Holland dans le Michigan (US) chauffe ses trottoirs et certaines chaussées en valorisant les rejets thermiques de leur centrale au gaz<sup>17</sup>.



Figure 18 : réseau de tubulure pour trottoir (©CanStockPhoto.com)

---

<sup>17</sup> <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1015145/un-risque-payant-les-trottoirs-chauffants-de-holland-michigan>

### 7.2.2 Opportunités et (co)bénéfices

Plusieurs bénéfices et co-bénéfices sont à considérer avec cette solution. Nous en présentons les principaux :

- Le chauffage des trottoirs et des chaussées protège des épisodes de gel/dégel de plus en plus fréquents, allongeant la durée de vie des infrastructures civiles. C'est une solution d'adaptation et de résilience.
- L'implantation d'une GMR (avec ou sans réseau thermique), permettrait de disposer de plusieurs points d'accès au réseau de tubulure et de le segmenter facilitant les opérations de maintenance/réparations.
- Ce genre de solution permet d'éviter les opérations de déneigement émettrice de GES, en plus d'éviter tous les désagréments connexes (acidification des sols à cause du sel de déglçage, bruit).
- La sécurité des piétons est améliorée et l'accès facilité aux commerces, équipements publics (école, installations sportives), bureaux et logements. Ils s'inscrivent dans les équipements menant à une mobilité active.

La principale opportunité qui se présente pour implanter un tel système est à nouveau la requalification du secteur avec des infrastructures civiles qui vont être refaites. Par ailleurs, le réseau thermique peut être dimensionné pour alimenter le réseau de chauffage des trottoirs et chaussées.

### 7.2.3 Conclusions

Nous sommes d'avis qu'il y a une opportunité à étudier plus en profondeur et sous un angle d'innovation urbaine, dans une poursuite des études pour un réseau thermique ou toute autre étude de type coûts-avantages. Un coût d'opportunité devrait s'évaluer en considérant :

- o La diminution des travaux de maintenance de la voirie et des trottoirs
- o La diminution des émissions de GES et autres polluants
- o La diminution des plaintes sécurité des trottoirs)
- o L'accès facilité aux commerces et aux installations municipales et communautaires

## Conclusions et Principales recommandations

L'étude des besoins énergétiques (chaud, froid) des futurs développements, des gisements potentiels et des infrastructures de distribution opportunes permet de démontrer qu'une approche semi-centralisée dans la fourniture de l'énergie grâce à un réseau thermique permettra d'inscrire et d'ancrer le futur secteur développé dans la durabilité et la résilience.

Les simulations effectuées à cet effet sur une base de quatre scénarios, l'ont été en considérant les facteurs de carboneutralité (réduction/suppression des GES), des facteurs de pointe (diminuer l'impact du développement sur la pointe électrique), des facteurs de résilience (rejets thermiques, GES et ozone, choc et stress).

Sans distinction entre un type de réseau sur un autre, il a été démontré que les résultats sont positifs à tout égard vis-à-vis des objectifs escomptés et fonction des données disponibles. **Une approche réseau thermique est opportune pour la ville de Montréal et mérite d'être analysée en profondeur pour être implantée (choix d'un scénario et faisabilité technique et financière).**

Nous pouvons malgré tout dire à cette étape qu'un réseau 5<sup>e</sup> G n'offre pas les avantages escomptés comparé à un réseau 4<sup>e</sup> G du fait de la volonté/nécessité de fournir la climatisation et du fait de la multiplication des pompes à chaleur utilisant des fluides frigorigènes. Le bénéfice d'un 5<sup>e</sup> G pourrait se voir sur le coût en équipement de canalisation. Encore là, la conception d'un réseau peut offrir de multitudes de solutions de maximisation et d'efficacité qui n'ont pas été traitées dans ce rapport mais qui amèneront à des réductions conséquentes des coûts.

Nous sommes d'avis qu'il y a matière à considérer une galerie multiréseaux dans le secteur, une infrastructure qui entre dans les critères de résilience et de durabilité pour le génie civil. L'opportunité exprimée vis-à-vis d'une GMR concerne la synergie qu'il y a entre ces deux infrastructures, une synergie qui va se formaliser en termes de coût et de gestion des actifs.

Malgré tout, plusieurs éléments sont à considérer pour la suite des choses sachant que de multitudes contraintes et limitations sont apparues en cours de mandat. Nous avons décidé ainsi de formuler diverses recommandations afin de guider la ville de Montréal dans les étapes subséquentes.

## Principales recommandations

Recommandation 1	Mener une campagne de prélèvement de températures et de débits (fleuve, effluents)
Besoin	Générer des données complètes
<p>Les analyses effectuées sont sommes toutes très sommaires et basées sur des données très souvent incertaines. La marge d'erreur dans les calculs effectués s'en trouve affectée. Considérant les investissements massifs que le projet peut susciter, et considérant la fenêtre d'opportunité très courte avant que les développements ne commencent, nous recommandons de prévoir rapidement différentes mesures (idéalement, hiver 2019-2020) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Effectuer une campagne de prise de température dans le Saint-Laurent en face du secteur étudié et au point de plus grande profondeur.</li> <li>- Effectuer une campagne de prise de température dans <u>les collecteurs</u> au niveau du pont Jacques-Cartier Viger, en particulier en hiver avant les chutes à neige, ainsi que les débits en tout temps.</li> </ul>	
Recommandation 2	Créer une cellule de projet au sein de la ville de Montréal
Besoin	Ne pas manquer l'opportunité de réduire les coûts de génie civil pour valoriser l'énergie des effluents et pour implanter une GMR
<p>Ne pouvant déterminer quel gisement est préférable entre le fleuve, les effluents, ou les deux, deux éléments sont à considérés pour se faire car ils auront un impact sur le dimensionnement des équipements et sur les coûts :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les résultats des campagnes de températures dans les effluents et dans le fleuve</li> <li>- Les coûts de connexion au fleuve et/ou au futur réseau de collecteur</li> </ul> <p>Concernant ce dernier élément, la récupération de chaleur dans les effluents nécessite d'implanter un équipement de type échangeur de chaleur à un endroit stratégique proche d'un collecteur et, tant que faire se peut, proche de la centrale où se trouvera l'équipement de production thermique (C1 ou C2). L'hypothèse du développement d'un plan directeur par la DRE pour une conception d'un réseau local et d'une révision du réseau de collecteurs devient opportune de ce fait pour planifier en amont l'inclusion de ces contraintes.</p> <p>Par ailleurs, il y a synergie entre une GMR, les réseaux techniques, le réseau thermique, les ouvrages de génie civil le tout se couplant à l'opportunité créée par un secteur qui va être requalifié.</p>	

Nous recommandons ainsi de prévoir la création d'une cellule de projet interne à la ville de Montréal incluant la DEEU, la DRE, l'arrondissement Ville-Marie et la CSEM. La participation du CERIU ainsi que du chargé de projet pour Montréal sur les GMR, Michel Saindon, peut s'avérer opportune. Cette cellule permettra dans l'essentiel deux choses : de peaufiner certaines données, et de ne pas manquer les opportunités uniques.

Recommandation 3	Collecter l'information concernant l'espace et les infrastructures de Molson
Besoin	S'assurer de l'existence des canalisations d'accès au fleuve et de la possibilité de disposer d'un espace conséquent pour une potentiel centrale de production énergétique
<p>Ne pouvant évaluer quel gisement est préférable à l'autre grâce à des données tangibles, nous recommandons de rapidement prendre contact avec le Groupe Sélection propriétaire du site Molson afin de s'assurer de l'existence des canalisations d'accès au fleuve, de leur état, et de la possibilité de disposer d'un espace conséquent pour une potentielle centrale de production énergétique.</p>	

Recommandation 4	Inclure la gestion de la demande passive dans les futures études
Besoin	S'assurer que le nouveau bâti réponde à des standards supérieurs en efficacité énergétique que ceux préconisés par le Code du bâtiment et le Règlement sur l'efficacité énergétique du Québec, et que cet aspect soit intégré dans le dimensionnement du réseau
<p>Il serait pertinent dans les prochaines études et simulations d'affecter des paramètres de gestion de la demande axés sur la conservation énergétique et la réduction à la source (enveloppe et fenestration efficace, étanchéité) afin de voir si cela amène une diminution de la puissance installée et si cela affecte la rentabilité du projet (modèle financier).</p> <p>Si tel est le cas, l'impact sera positif en termes de réduction des coûts d'investissement, ou cela permettra de libérer du potentiel thermique pour la même puissance installée et donc de « connecter » d'autres clients potentiels (augmentation des revenus, amélioration de l'amortissement).</p>	

Recommandation 5	Planifier en amont une potentielle et opportune extension du réseau
Besoin	Améliorer la résilience des secteurs avoisinants, « connecter » des bâtis existants, augmenter les revenus et améliorer l'amortissement
<p>Trois éléments sont à considérer :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Une potentielle connexion avec le réseau de la ECCU qui est efficace et en recherche d'extension. Cette avenue pourrait apporter une résilience accrue au réseau étudié.</li> <li>- Une potentielle extension vers l'Est afin d'aller chercher, par exemple, les rejets thermiques d'origines industrielles que nous pensons avantageuse (Lallemand, Sucre Lantic). Il y aurait lieu d'étudier l'opportunité d'alimenter le futur éco parc industriel de la Grande Prairie.</li> <li>- Une potentielle extension du bassin de bâtiments clients du réseau à travers les bâtiments existants situés dans le secteur à l'étude.</li> </ul> <p>Dans quel cas, il y aurait lieu, tel que mentionné dans l'étude, de prévoir l'espace nécessaire pour une installation mécanique suffisante dans les centrales pour bénéficier des gisements existants. Nous rappelons à cet effet qu'il s'agit du même équipement pour profiter des gisements provenant du fleuve ou des effluents. Une combinaison pourrait être opportune.</p>	

Recommandation 6	Élaborer un règlement municipal pour le réseau énergétique
Besoin	S'assurer que la ville dispose d'un pouvoir réglementaire pour s'assurer de la viabilité de l'infrastructure.
<p>Deux éléments principaux sont à considérer pour assurer la viabilité de l'infrastructure en phase opérationnelle :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Obliger la connexion des futurs bâtiments pour obtenir la masse critique suffisante à la viabilité financière du réseau</li> <li>- S'assurer que les sous-stations mécaniques et la gestion de la demande énergétique des futurs bâtiments répondent aux critères techniques de connexion et de fonctionnalité du réseau.</li> </ul> <p>Ce règlement est une condition <i>sine qua none</i> au projet de réseau telles que préconisé par les villes de Vancouver et de Richmond (BC).</p>	

Recommandation 7	Privilégier un modèle de gouvernance « tout public » ou « public-privé »
Besoin	Maximiser les opportunités de financement de type subvention / Prioriser une gouvernance permettant de faire face aux contraintes de temps et à la pression du développement immobilier
<p>Le degré de contrôle requis par la ville pour assurer l'atteinte d'objectifs contraignants, le besoin d'un déploiement rapide du réseau et le faible niveau de rentabilité attendu du projet sont des éléments qui militent pour un modèle d'affaires de type « tout public » ou « public-privé » avec une présence forte du secteur public dans le cas d'une co-entreprise.</p> <p>Dans tous les cas, la ville devra s'adjoindre des partenaires privés d'expérience pour l'aider dans la préparation et la réalisation du projet (étude de faisabilité, montage de l'entité légale et cadre contractuel, conception, construction, administration, gestion, mesurage et facturation, opération et entretien, etc.), que ce soit comme sous-traitants, partenaires ou concessionnaires. Le niveau d'appui financier provenant de l'entente EBI fédérale-provincial est également largement supérieur pour un projet appartenant à une municipalité, ce qui favorise un modèle d'affaires de type « tout public ». Malgré ceci, il sera primordial de réaliser une étude de faisabilité détaillée, incluant un montage financier et le choix d'une solution technique précise, afin de déterminer le meilleur modèle d'affaires à retenir pour ce projet.</p>	

Recommandation 8	S'entourer des experts dans chacune des sphères du projet
Besoin	Assurer des choix éclairés dans un environnement de projet ayant des contraintes pouvant être importante.
<p>À chaque stage du projet ou à chaque étape décisionnelle, il sera crucial de faire appel à des experts dans chacune des sphères d'activités, pour réévaluer les risques associés aux décisions, s'assurer de détenir les informations et outils nécessaires pour faire un choix éclairé. Le succès financier du projet ainsi que du partenariat d'affaires ne pourra être assuré que si toutes ces étapes sont entreprises avec rigueur.</p>	

## Bibliographie

- [1] – KHOURY, Jad & Services Industriels de Genève & Ville de Genève. Récupération de la chaleur des eaux usées: Etude de cas de la Cité-Jonction (GE). Genève : Services Industriels de Genève & Ville de Genève, 2009
- [2] - 5<sup>th</sup> Generation District Heating and Cooling systems : A review of existing cases in Europe, Buffa et al., 2019, 19p
- [3] - Réseaux urbain de chaleur et de froid – Libérer le potentiel de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables, PNUE, 2015, 138p
- [4] - ADEME, IN NUMERI, Carpenè, L., Haeusler, L., 2019. Les réseaux de chaleur et de froid : état des lieux de la filière. 87 pages.
- [5] – Guide pratique des galeries multiréseaux, Groupe de recherche « Clés de sol », avril 2005, 237p
- [6] – Design Guidelines, Neighbourhood Energy Connectivity Standards, march 2014, 9p  
<https://vancouver.ca/files/cov/neighbourhood-energy-design-guidelines.pdf>
- [7] – A guide for connection do District Energy, Alexandra District Energy Utility, 20p  
[www.luluislandenergy.ca/wp-content/uploads/2017/06/CITYHALL-5005607-v1-CITYHALL-4980829-v4-ADEUDesignGuidelineFinal.pdf](http://www.luluislandenergy.ca/wp-content/uploads/2017/06/CITYHALL-5005607-v1-CITYHALL-4980829-v4-ADEUDesignGuidelineFinal.pdf)
- [8] - Marc Lee, Canadian Centre for Policy Alternatives, 2015. Innovative Approaches to Low-Carbon Urban Systems: A Case Study Of Vancouver's Neighbourhood Energy Utility.
- [9] - C40 Cities, Février 2016. C40 Good Practice Guides: Toronto - Enwave Energy Corporation.
- [10] - International Energy Agency, 2017. Governance Models and Strategic Decision-Making Processes for Deploying Thermal Grids.



## Annexes

Annexe 1 : Carte du secteur à l'étude

Annexe 1 bis : Personnes contacts opportunes

Annexe 2 : Pourquoi un réseau thermique ? Avantages et objectifs visés - Généralités

Annexe 3 : Évolution des réseaux thermiques

Annexe 4 : Carte du réseau d'égouts dans le secteur à l'étude

Annexe 5 : Composition du réseau d'égout de Montréal

Annexe 6 : Schémas de sous-stations

Annexe 7 : Schéma de principe d'une sous-station dans un réseau à boucle d'eau mitigée (5<sup>e</sup> G)

Annexe 8 : Données sur les coûts d'équipements

Annexe 9 : Détails de l'entente BEI entre le gouvernement fédéral et provincial

Annexe 10 : Visualisation d'une galerie multiréseaux

Annexe 11 : Résultats simulation d'opportunité pour une galerie multiréseaux (Université Concordia)

## Annexe 1 : Carte du secteur à l'étude

Périmètre :

- Fleuve au sud
- Rue Ataken à l'ouest
- Bd. René Lévesque et rue Ste-Catherine au nord
- Rue Fullum à l'est

Territoire inclus dans le périmètre  
Du PPU des Faubourgs en rouge.



## Annexe 1 bis : Personnes contacts opportunes

Éric Lafrance	Hydro-Québec	Délégué commercial (514) 879-4494 / lafrance.eric@hydro.qc.ca	Renseignement à propos de la puissance d'un centre de données
Michel Saindon	CERIU - Consultant	Chargé de projet (438) 403-2274 michelsaindongeconseil@videotron.ca	Point de contact pour GMR; consultant VdeM, CERIU et entreprises de réseaux
Salamatou Modieli Amadou	CERIU	Coordonnatrice de projet (514) 848-9885 #236 salamatou.modieli@ceriu.qc.ca	Chargée de projet GMR au CERIU. Se réfère à Michel Saindon
Émilie Papillon	Ville de Montréal	Ingénieure Civil – Hydraulique, Section Ingénierie de procédé, DEEU Ville de Montréal (514) 280-4391 / (514) 466-4391 emilie.papillon@ville.montreal.qc.ca	Personne contact à la DEEU pour info, coordination, etc.
Alain Charron	Ville de Montréal	Chef de projet – Plan directeur, Direction de l'épuration des eaux, Service de l'eau, VdeM (514) 280-9297 / (514) 880-9171 (cell) alain.charron@ville.montreal.qc.ca	Personne contact en suppléant de Mme Papillon
Benjamin Pugi	Ville de Montréal	Chef de section, soutien technique et opérationnel, service de la concertation des arrondissements, Direction Travaux Publics, Ville de Montréal (514) 895-7454 / benjamin.pugi@ville.montreal.qc.ca	Information concernant l'enlèvement de la neige et sa disposition en domaine public
Marie Dugué	Ville de Montréal	Conseillère aux normes, Division de la gestion durable de l'eau, Direction des réseaux d'eau, Service de l'eau (514) 872-2729 / marie.dugue@ville.montreal.qc.ca	Point de contact au service de l'eau pour la gestion des eaux de ruissellement
Paolo Cattelan	Téléystème Énergie	Vice-président – Opérations (514) 397-9797	Informations concernant le projet d'hydrolienne de rivière et données de température dans le fleuve
Sarah Cacoub	TEQ	Affaires stratégiques et partenariats (514) 393-9527 / sarah.cacoub@teq.gouv.qc.ca	Entente BEI - subvention
Stéphan Gagnon	TEQ	Coordonnateur service d'accompagnement technique (418) 627-6379 # 8024 stephan.gagnon@teq.gouv.qc.ca	Entente BEI - subvention

## Annexe 2 : Pourquoi un réseau thermique ? Avantages et objectifs visés - Généralités

La littérature est explicite sur le sujet. Les réseaux thermiques offrent de multiples avantages qui peuvent et doivent servir des objectifs à atteindre. Nous énumérons ici les principaux avantages classiquement cités :

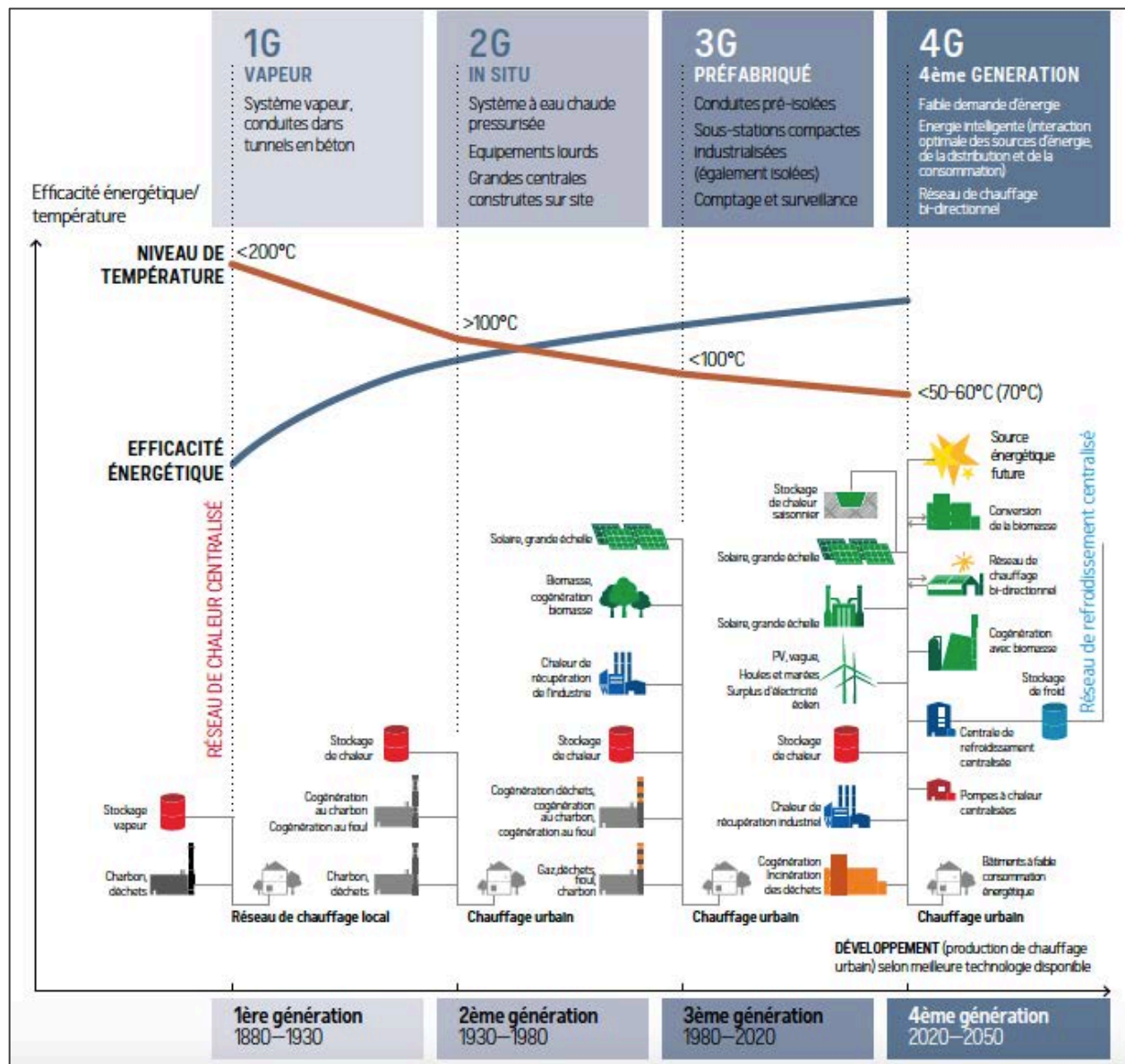
- Réduction des émissions de GES et recherche d'une carboneutralité où sont considérées :
  - Production d'énergies renouvelables ou utilisation d'énergie primaire déjà décarbonée (hydroélectricité);
  - Valorisation de rejets thermiques qui remplace en partie ou en totalité les besoins énergétiques autrement alimentés par des énergies fossiles (gaz pour les chaudières);
  - Baisse des consommations énergétiques primaires atteintes grâce aux mesures de conservation et d'efficacité énergétique sur les bâtiments « clients » du réseau et par les effets de mutualisation;
  - Diminution drastique des besoins en frigorigène utilisé pour la climatisation (fort PRG et PDO<sup>18</sup>).
- Amélioration de la qualité de l'air (intérieur et extérieur) où sont considérées :
  - Réduction de l'utilisation des énergies fossiles;
  - Lutte aux Îlots de chaleur par la valorisation des rejets thermiques;
  - Plus grande efficacité dans les bâtiments pouvant générer une meilleure qualité de l'air intérieur
- Grande efficacité énergétique où sont considérés :
  - Niveau minimal d'efficacité énergétique des bâtiments « clients » à atteindre pour assurer viabilité et rentabilité des réseaux (l'investissement en efficacité énergétique devient prépondérant);
  - Valorisation des rejets thermiques (mesure d'efficacité énergétique);
  - Synergie entre les diverses sources de production et de consommation de chaleur.
- Utilisation de ressources énergétiques renouvelables et locales où sont considérées :
  - Récupération d'énergie (valorisation des rejets thermiques)
  - Aérothermie, hydrothermie fluviale
  - Énergies renouvelables (solaire, géothermie, etc.)

---

<sup>18</sup> [www.lapresse.ca/actualites/environnement/201907/25/01-5235058-des-tuyaux-deau-glacee-sous-les-villes-alternative-a-la-climatisation.php](http://www.lapresse.ca/actualites/environnement/201907/25/01-5235058-des-tuyaux-deau-glacee-sous-les-villes-alternative-a-la-climatisation.php)

- Résilience, génie urbain et adaptation aux changements climatiques où sont considérés :
  - Résistance aux chocs et aux perturbations vécus par les réseaux énergétiques principaux (sécurité énergétique, stabilité des réseaux principaux qui sont « secondés » dans leurs tâches)
  - Réduction de la dépendance aux énergies fossiles
  - Évolution du bouquet énergétique du quartier sans intervention dans les bâtiments ni les rues
  - Opportunités et synergies (chauffage des trottoirs et des chaussées, galerie multiréseaux)
  - Instrument de lutte contre la pointe électrique (meilleure stabilité du réseau de distribution)
- Création d'une économie verte, modernisation des infrastructures urbaines où sont considérés :
  - Lutte contre la pointe évite des investissements massifs en infrastructures de puissance
  - Un réseau est évolutif à deux niveaux :
    - D'autres sources d'énergies renouvelables peuvent être greffées au réseau à mesure des évolutions technologiques (réseau dynamique)
    - Le réseau peut s'agrandir de manière organique au fur et à mesure des futurs développements
  - Création d'emploi à forte valeur ajoutée (ingénierie, gestion, finance)
  - Création de richesse (revenus sur la vente d'énergie, revenus de taxes locales, etc.) Le rendement financier derrière la création de richesse sera impacté par les contraintes apposées au projet.
- Tarification avantageuse (ce qui aura un impact sur la rentabilité de l'infrastructure) où sont considérées :
  - Lutte contre une précarité énergétique;
  - Attractivité ciblée sur le territoire desservi
- Avantages connexes et subsidiaires où peuvent être considérés :
  - Moins d'entretien pour les gestionnaires d'immeubles
  - Libération d'espaces dans les bâtiments (salles mécaniques, toit)

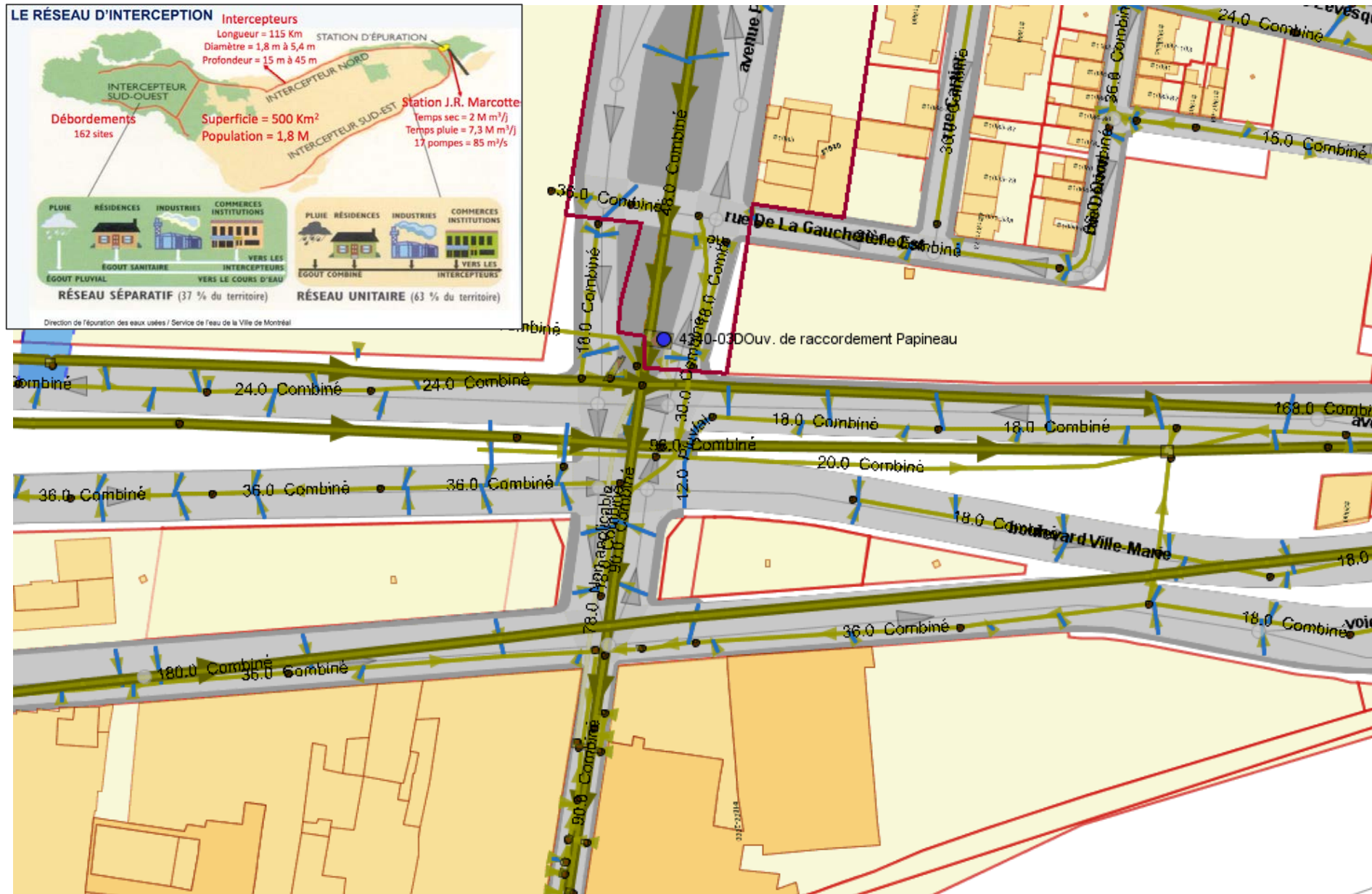
### Annexe 3 : Évolution des réseaux thermiques



[3] – PNUE

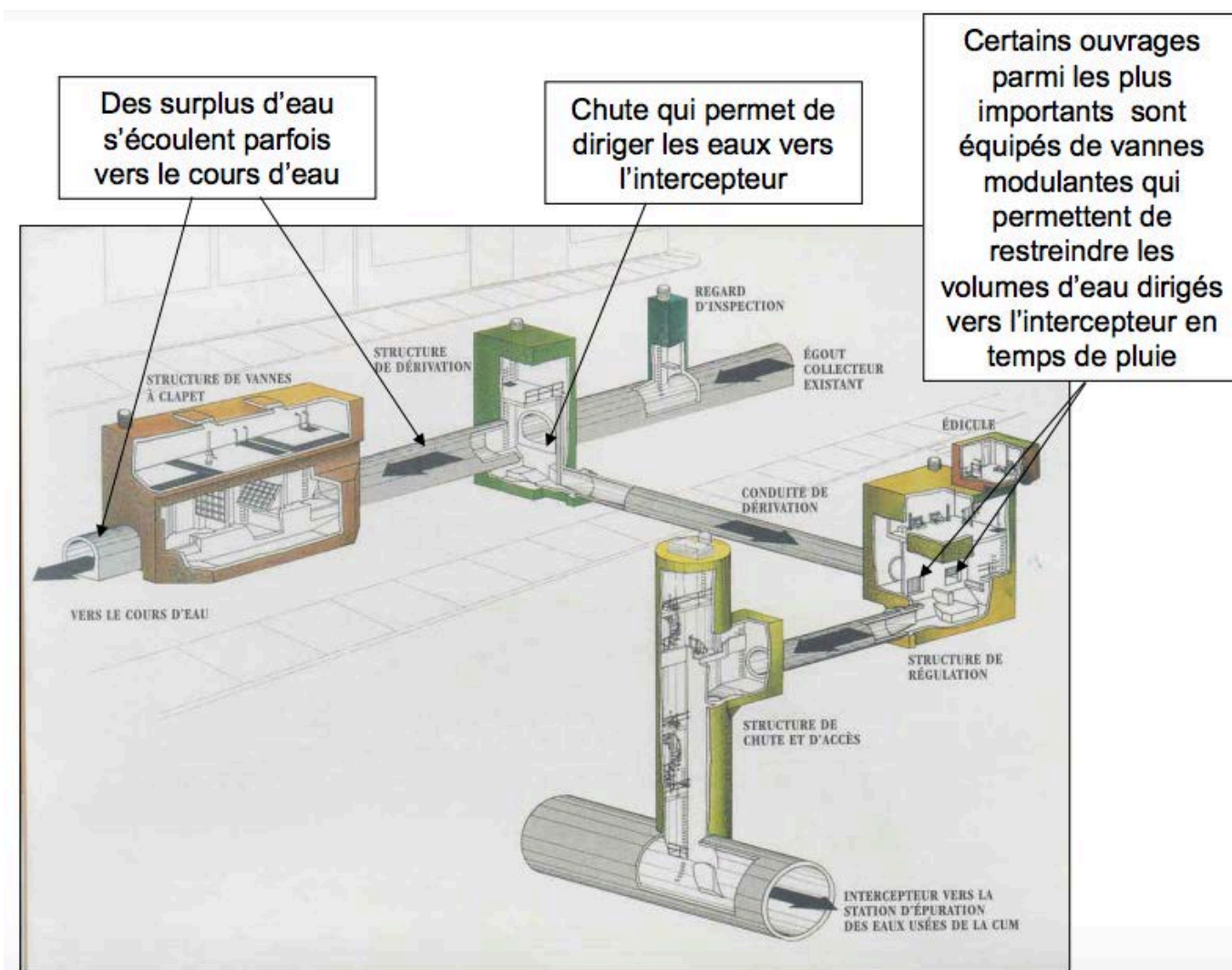
Réseaux urbains de chaleur et de froid – Libérer le potentiel de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables, PNUE, 2015, 138p

Annexe 4 : Carte du réseau d'égouts dans le secteur à l'étude



Source : DEEU, Ville de Montréal (Contact : Émilie Papillon)

Annexe 5 : Composition du réseau d'égout de Montréal



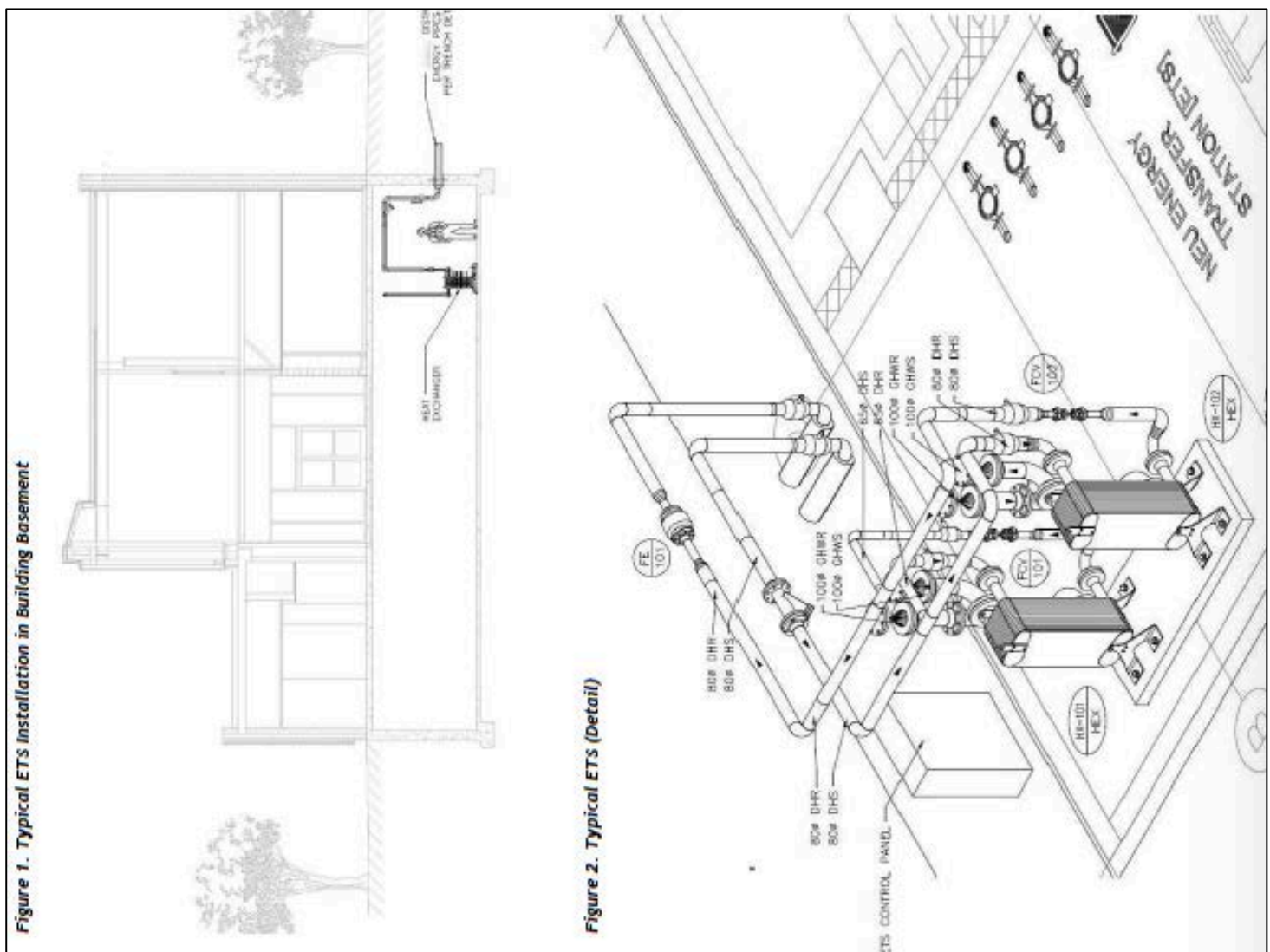
Source : Ville de Montréal

<http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?pageid=6497,54389572&dad=portal&schema=PORTAL>

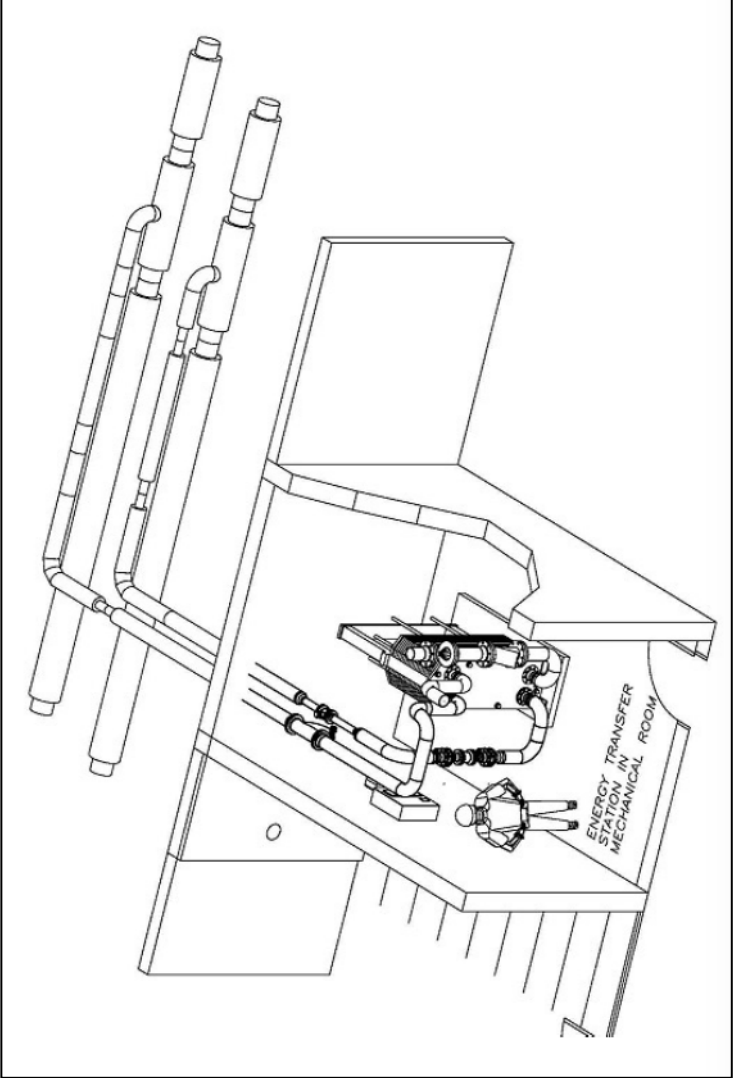


Annexe 6 : Schémas de sous-stations

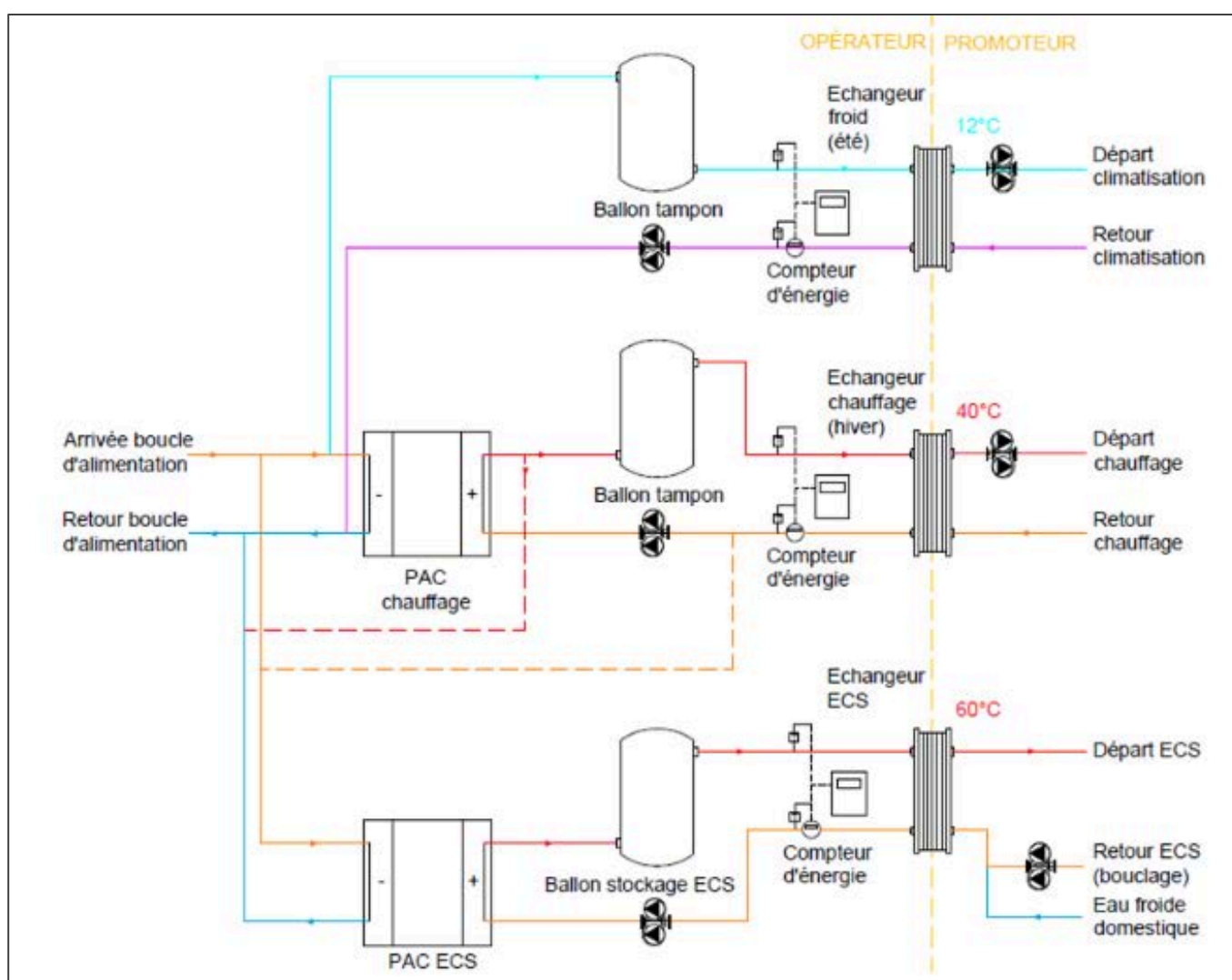
Exemple de sous-station pour un réseau centralisé ou 4<sup>e</sup> génération  
 (Crédit : Ville de Vancouver [6]- Design Guidelines)



Exemple de sous-station pour un réseau décentralisé ou 5<sup>e</sup> génération  
(Crédit : Ville de Richmond [7]- Design Guidelines)



Annexe 7 : Schéma de principe d'une sous-station dans un réseau à boucle d'eau mitigée (5<sup>e</sup> G)



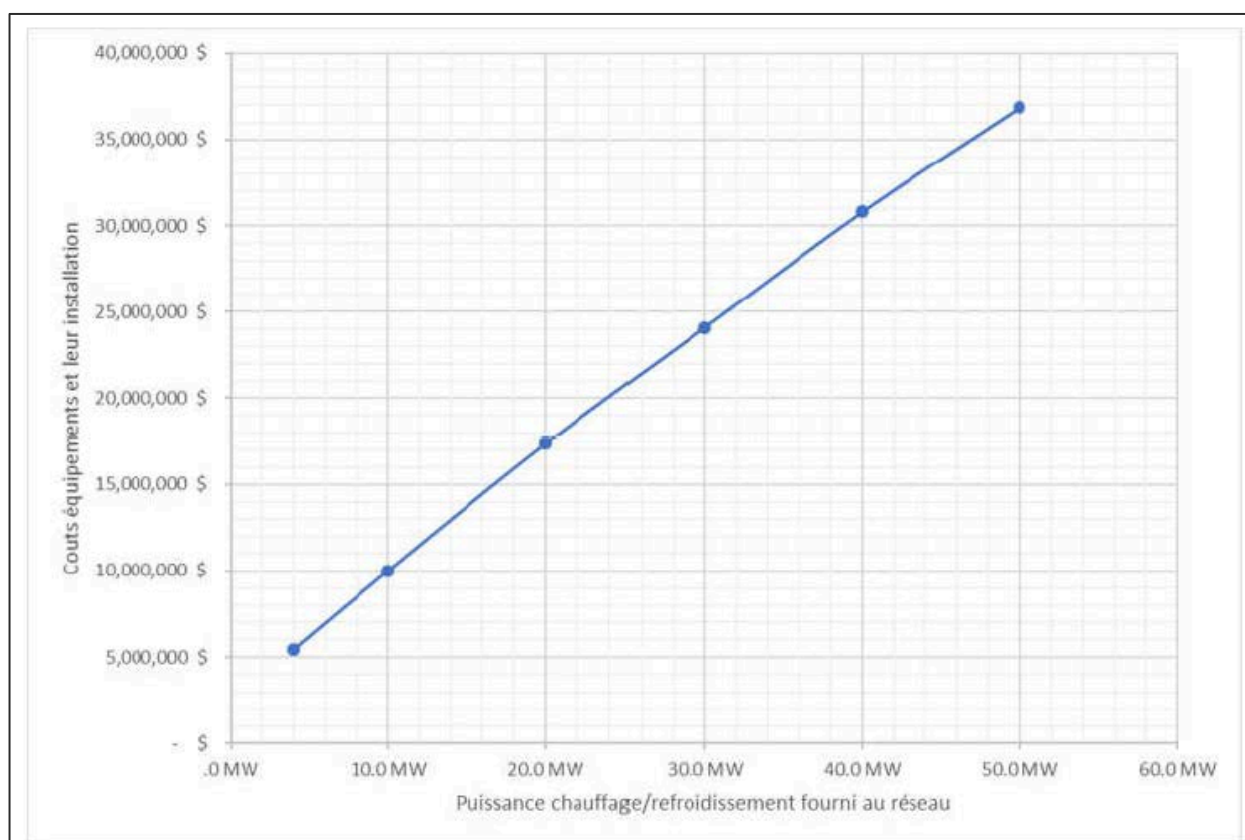
(Crédit : Ecome)

Annexe 8 : Données sur les coûts d'équipements (données complètes dans le rapport d'Atis technologies annexé)

Coût des équipements de production (PAC et échangeur de chaleur)

Estimé global des coûts liés aux équipements mécaniques nécessaires pour alimenter le réseau et remplir les besoins en énergie. Ces coûts sont indépendants du gisement considéré car ce sont pratiquement les mêmes installations pour une captation dans les effluents que dans le fleuve.

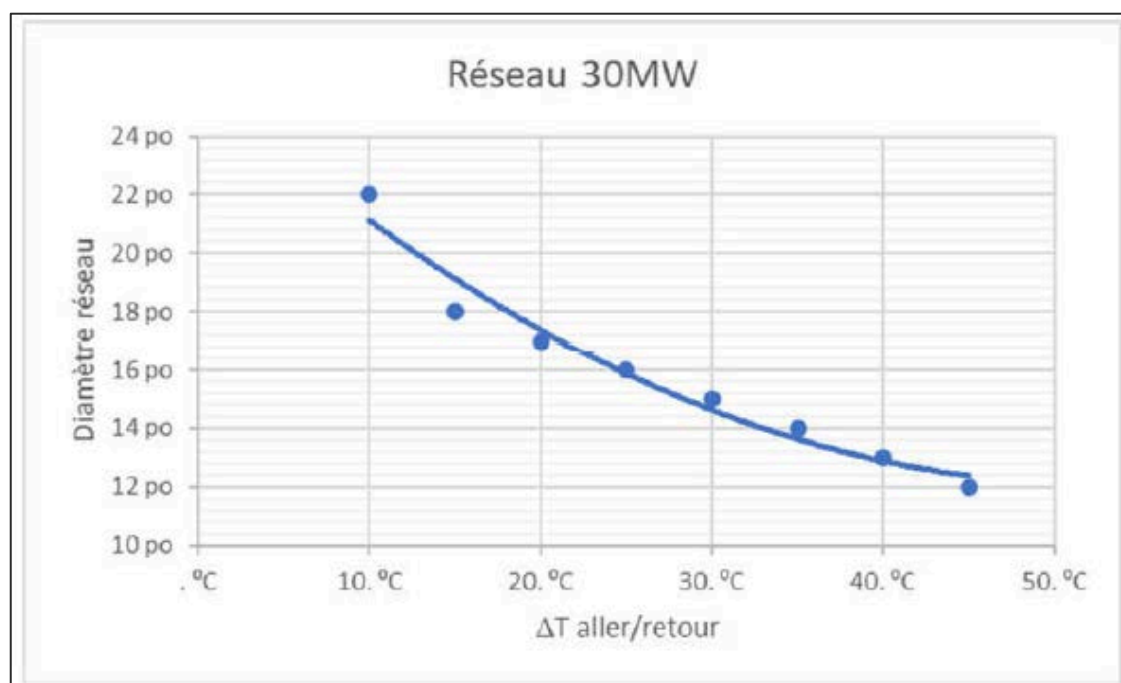
Ces coûts affichés inclus les pompes, les pompes à chaleur (PAC), la tuyauterie (fourniture et installation mais la tuyauterie du réseau de distribution), l'alimentation électrique et la station de contrôle. Ils n'incluent pas les coûts liés au bâtiment, au réseau de distribution, aux travaux de génie civil nécessaire, ou aux autres exigences spécifiques (comme des permis par exemple).



Coût relié au réseau (ou coût d'équipement de distribution)

Les coûts reflètent les canalisations permettant de répondre au besoin du secteur à l'étude. Nous ne prenons pas en considération une potentielle expansion qui nécessiterait probablement une augmentation du diamètre des tuyaux.

Tel que précisé, l'essentiel du coût du réseau est dans le coût des canalisations qui est dépendant du diamètre et du niveau d'isolation (et de la longueur du réseau bien entendu). Le graphique ci-dessous renseigne le diamètre des canalisations en fonction du  $\Delta T$  aller/retour dans le bâtiment pour une configuration de réseau à 30 MW<sup>19</sup> ce qui nous permettra d'évaluer le coût au mètre linéaire des tuyaux.



<sup>19</sup> Cette puissance provient des hypothèses explicitées

Annexe 9 : Détails de l'entente EBI entre le gouvernement fédéral et provincial

EBI	Critères d'admissibilité	Répartition financière selon le type de porteur du projet
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Subvention non-normée, et non un programme.</li> <li>• Enveloppe de + de 200 M\$ provenant du Fédéral et réservée à des projets de valorisation de rejets thermiques (VRT) et le développement de projets dans le grand Nord. Pour la VRT, ce montant vise à financer les infrastructures.</li> <li>• Versements 2 x / an sur présentation des factures avec rapport d'état des résultats.</li> <li>• Le cadre de gestion est sur le point d'être réglé.</li> <li>• TEQ lance un appel à projets début octobre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Étude de faisabilité</li> <li>• Analyse GES</li> <li>• Résiliences aux changements climatiques</li> <li>• Minimum de 90% de l'énergie transportée doit être de la VRT :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Possibilité de conjuguer les gisements thermiques. Ex : 70% rejets centre de donnée + 20 % rejets eaux usées. Possibilité de récupérer la chaleur des bâtiments mais cette énergie est trop faible pour représenter le 90% nécessaire.</li> <li>&gt; Le 10% restant peut-être de source fossile (Gaz) ou renouvelable (géothermie / biomasse forestière). TEQ est favorable à prioriser les énergies renouvelables.</li> </ul> </li> </ul>	M/O > Fédéral : 50%
		Municipalité > Fédéral : 40 % > Provincial : 33 % - obligatoire pour avoir le 40% du Fédéral
		OBNL > Fédéral : 40% > Pas d'obligation provinciale
		Entreprise privée et qui desservira une clientèle publique > Fédéral : 25%

## EN 5 MINUTES Montréal

# En finir avec les rues bloquées

« Ce serait un bel aboutissement pour moi et pour les citoyens (...) Une solution qui améliore pour longtemps le quotidien des gens et réduit à terme les dépenses des opérateurs et de la Ville, c'est ce que j'appelle du développement durable. »

- Serge Boileau (CSEM)

6-10 M\$

Coût de la construction par kilomètre de galerie multiréseaux

### Avantages

- Travaux confinés dans la galerie, donc pas de blocage des rues dehors
- Entretien plus simple : réseau protégé, facile d'accès et observable en permanence
- Augmentation de la durée de vie des infrastructures : plus de 100 ans
- N'existe pas en Amérique du Nord : possibilité de devenir un modèle

### Inconvénients

- Plus cher à construire au départ (compensé par les économies à terme ?)
- Difficulté de changer un modèle établi, comptant de nombreux acteurs avec leurs propres normes (transport de l'eau, de l'électricité, du gaz, égouts, Internet, etc.)

25 ans de travail

1995

Introduction du concept de galerie multiréseaux (GMR) au CERIU

1998

Une délégation technique du Québec est envoyée en France étudier des exemples de GMR

1999

Création du projet de recherche français Clé de Sol sur le concept de GMR, qui publiera six ans plus tard un Guide pratique des GMR

2004

Étude de faisabilité des GMR au Québec, démontrant des avantages clairs

# grâce à une

La multiplication des chantiers de des galeries souterraines rassemble plus de 20 ans à un ingénieur tenace

Température de 15 à 20°C

Il ne doit pas faire trop chaud, car les câbles électriques dégagent de la chaleur. Et l'eau elle-même isolée dans son conduit, doit rester à 6 ou 7°C. Sous terre, la galerie n'est affectée par le froid de l'hiver ou la chaleur de l'été.

Câblé

Électricité, télécom, câbles reliés aux lumières de signalisation de la route.

Source : Pris d'une présentation offerte par le CERIU (envoyé par Serge Boileau), nous n'avons pas la source originale.

Annexe 11 : Résultats simulation d'opportunité pour une galerie multiréseaux (Université Concordia)

	Weights from AHP (%)	René-Lévesque (Wolfe to Panet)	René-Lévesque (Panet to De Champlain)	René-Lévesque (De Champlain to De Lorimier)	René-Lévesque (De Lorimier to Notre-Dame)	De Lorimier (#901-05 De Lorimier to Sainte-Catherine)	Notre-Dame (#1500-670 Notre-Dame to Avenue Papineau)	Notre-Dame (Avenue Papineau to #1806-2000 Notre-Dame)	Notre-Dame (De Lorimier to René-Lévesque)	
Road ID		<b>23763</b>	<b>23786</b>	<b>23787</b>	<b>23854</b>	<b>23901</b>	<b>23782</b>	<b>23801</b>	<b>23855</b>	
Length (m)		267.39	254.16	383.12	309.40	204.50	300.64	210.72	320.03	
Criteria	AADT	15.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	Road class	3.7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.80	1.00
	Utility density	12.3	0.77	0.45	0.49	0.18	1.00	0.63	0.33	0.36
	Expected excavation number (using water pipe breakage rate)	23.6	0.99	0.00	0.00	0.44	0.00	1.00	0.70	0.00
	Future development projects	19.3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
	Population density	7.6	0.69	0.84	1.00	0.63	0.76	0.39	0.90	0.63
	Land use	10.3	0.60	0.60	0.78	0.80	0.80	1.00	1.00	0.80
	Number of public facilities/high-rise buildings	8.1	0.67	0.67	0.33	0.33	0.00	1.00	0.67	0.33
<b>Total Score</b>		<b>0.878</b>	<b>0.616</b>	<b>0.625</b>	<b>0.664</b>	<b>0.644</b>	<b>0.707</b>	<b>0.612</b>	<b>0.389</b>	
<b>Average score for the same road</b>		<b>0.6886336</b>				<b>0.644</b>	<b>0.560837593</b>			



