



Vers une stratégie thermique pour le Québec

Une composante nécessaire
de toute transition
énergétique

IRÉC, Automne 2023



Une stratégie « thermique » : question de vocabulaire

La plupart du temps, le recours au terme « thermique » dans les stratégies et politiques énergétiques réfère à l'énergie produite par la combustion exothermique des hydrocarbures.



Dans cette présentation, *le terme « thermique » réfère à l'ensemble des sources « naturelles » et « artificielles » de chaleur*

La **chaleur de sources « naturelles »** provient principalement du rayonnement solaire ou de sources géothermiques emmagasinés dans le territoire et dans le patrimoine construit.

La **chaleur de sources « artificielles »** (renouvelables ou non) provient de l'activité humaine : hydroélectricité, hydrocarbures, énergie éolienne, biomasse, énergie géothermique, rejets thermiques, etc.

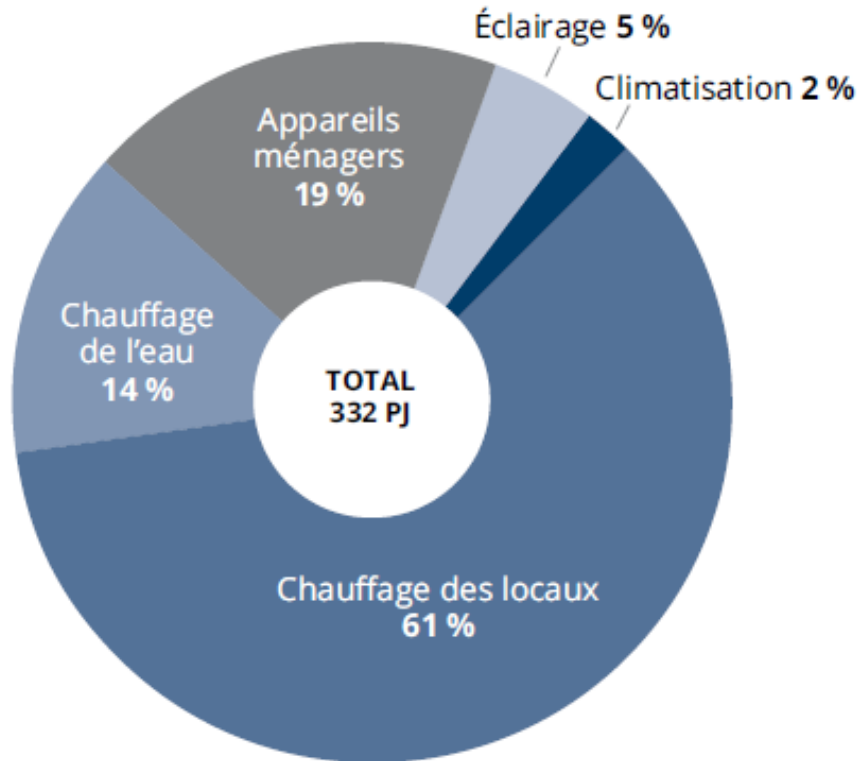


L'enjeu thermique

Première partie



Les usages de l'énergie dans le secteur résidentiel québécois



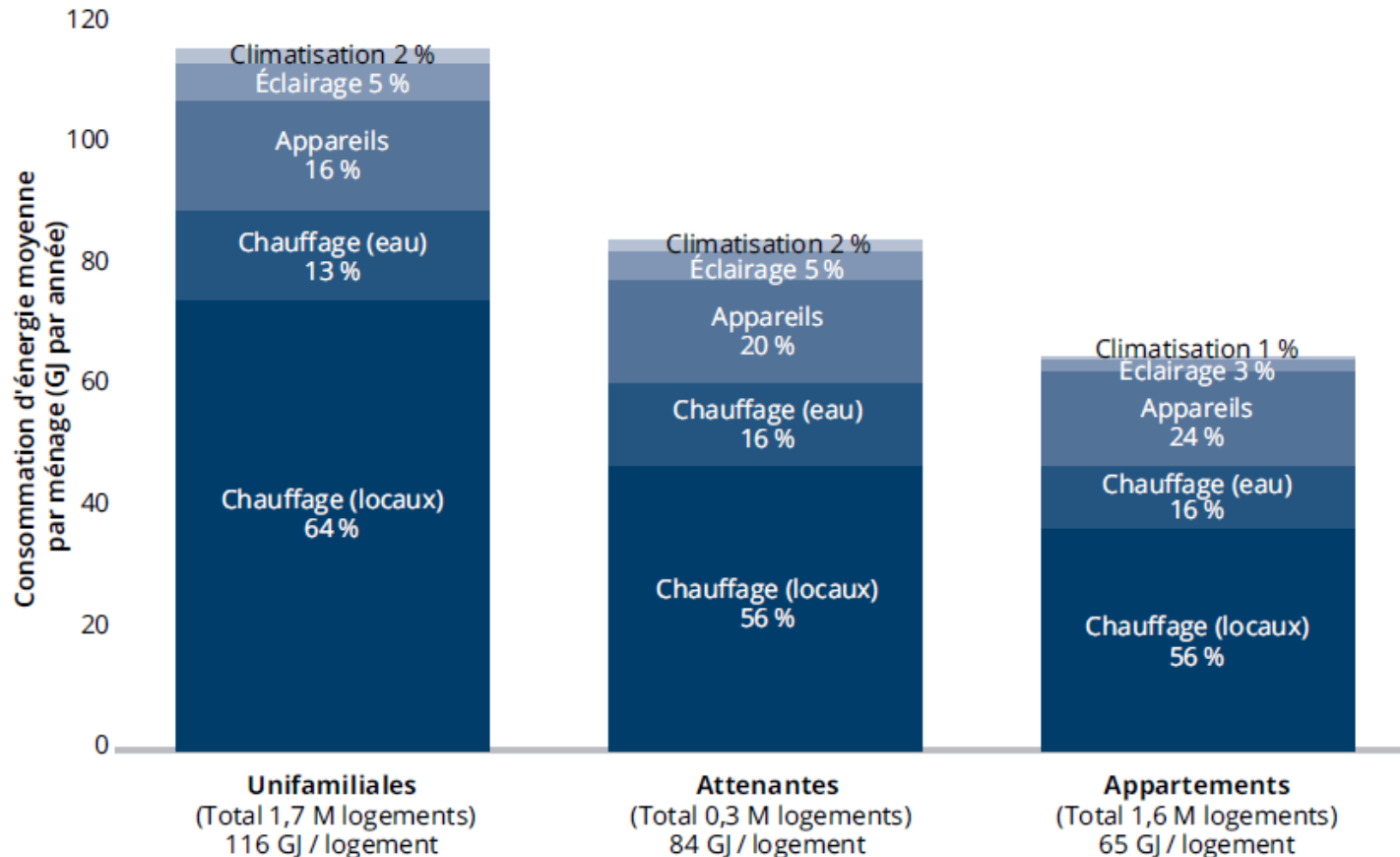
Plus des trois quarts (77 %) de l'énergie consommée par les ménages québécois est consacrée à produire ou à gérer la chaleur (chauffage des locaux + chauffage de l'eau + climatisation).

Le portrait est le même pour l'électricité (74 %).

Il s'agit d'une **moyenne annuelle** : les besoins changent selon les saisons et selon les conditions météorologiques (hiver froid – été caniculaire) typiques du climat tempéré nordique du Québec.

Source :Whitmore, J. et P.-O. Pineau, 2023. État de l'énergie au Québec 2023, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal, préparé pour le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles. Également : <https://www.hydroquebec.com/residentiel/espace-clients/consommation/consommation-electrique-sources.html> p. 49

L'effet « thermique » de la densité résidentielle

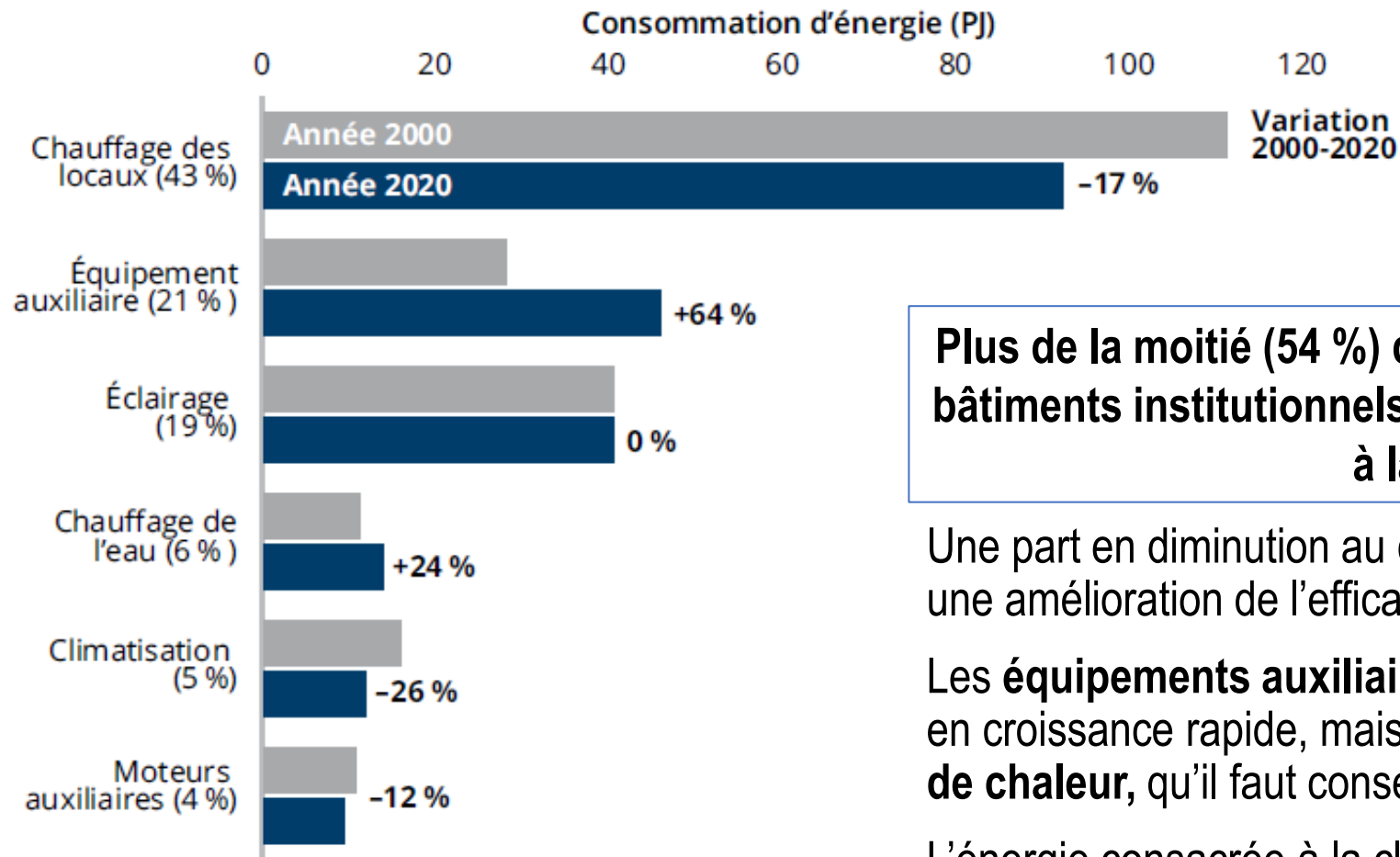


Source : État de l'énergie 2023, p. 50

Les stratégies d'aménagement du territoire ont non seulement un impact sur les besoins énergétiques du transport, mais sur les usages de l'énergie dans les bâtiments résidentiels.

Les besoins de chauffage des locaux par ménage sont nettement plus élevés pour les habitations unifamiliales à faible densité.

La chaleur dans le secteur institutionnel et commercial



Plus de la moitié (54 %) de l'énergie consommée par les bâtiments institutionnels et commerciaux est consacrée à la chaleur.

Une part en diminution au cours des 20 dernières années : une amélioration de l'efficacité énergétique ?

Les **équipements auxiliaires** (ordinateurs, notamment) sont en croissance rapide, mais sont également des **émetteurs de chaleur**, qu'il faut conserver en hiver et évacuer en été.

L'énergie consacrée à la climatisation (5 %) est plus élevée que dans le résidentiel (2 %).

Source : État de l'énergie 2023, p. 51

Les externalités thermiques des équipements électroménagers et électroniques

Les **appareils électroménagers** sont une source non négligeable de chaleur :

Cuisson (au gaz ou à l'électricité)

Chaîne du froid (réfrigérateurs et congélateurs)

Éclairage (surtout pour les luminaires conventionnels)

Équipements audio-visuels et télévisuels

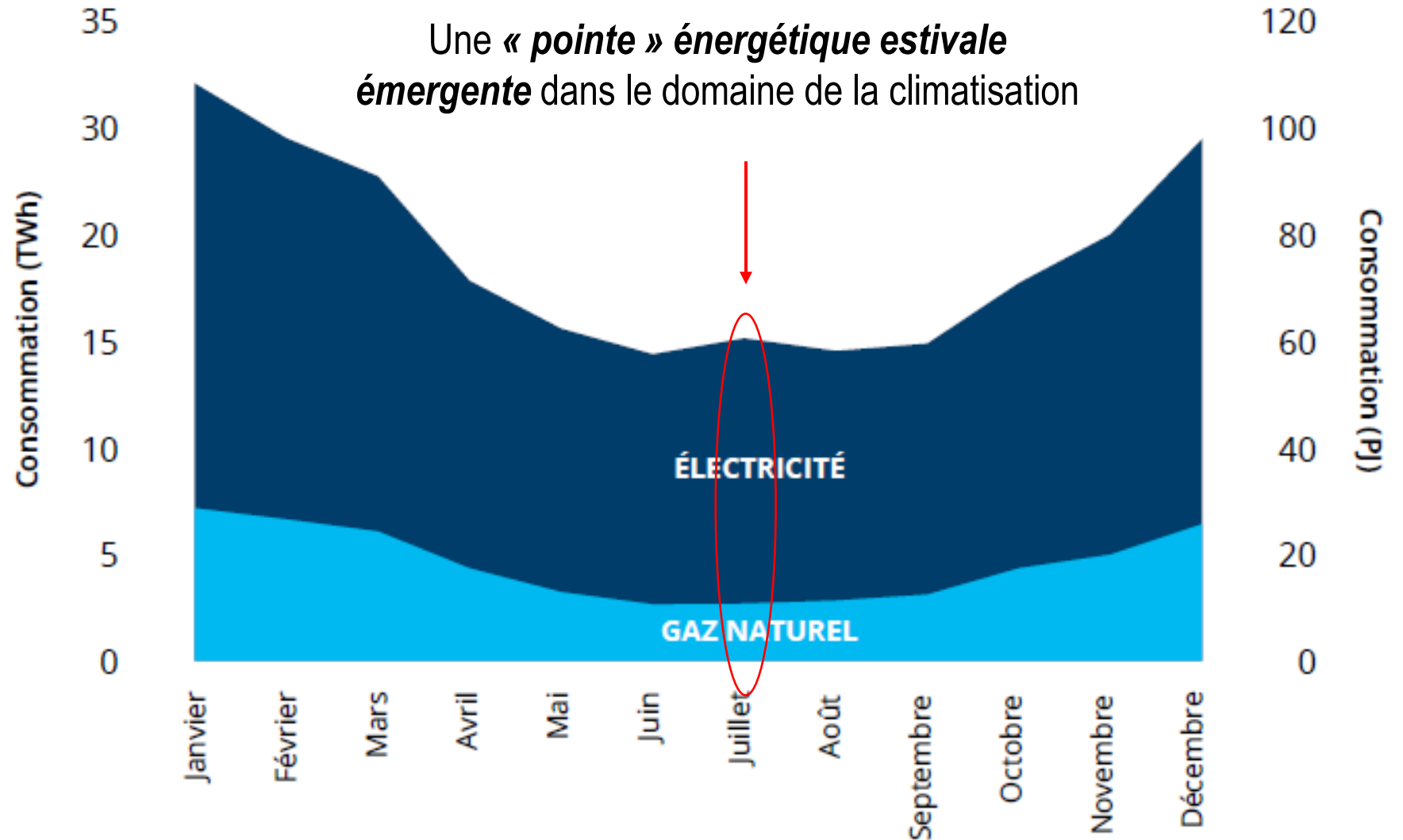
Les **équipements électroniques** sont également une source importante de chaleur

En particulier dans le secteur institutionnel (équipement « auxiliaire »)



Les pointes hivernale et estivale

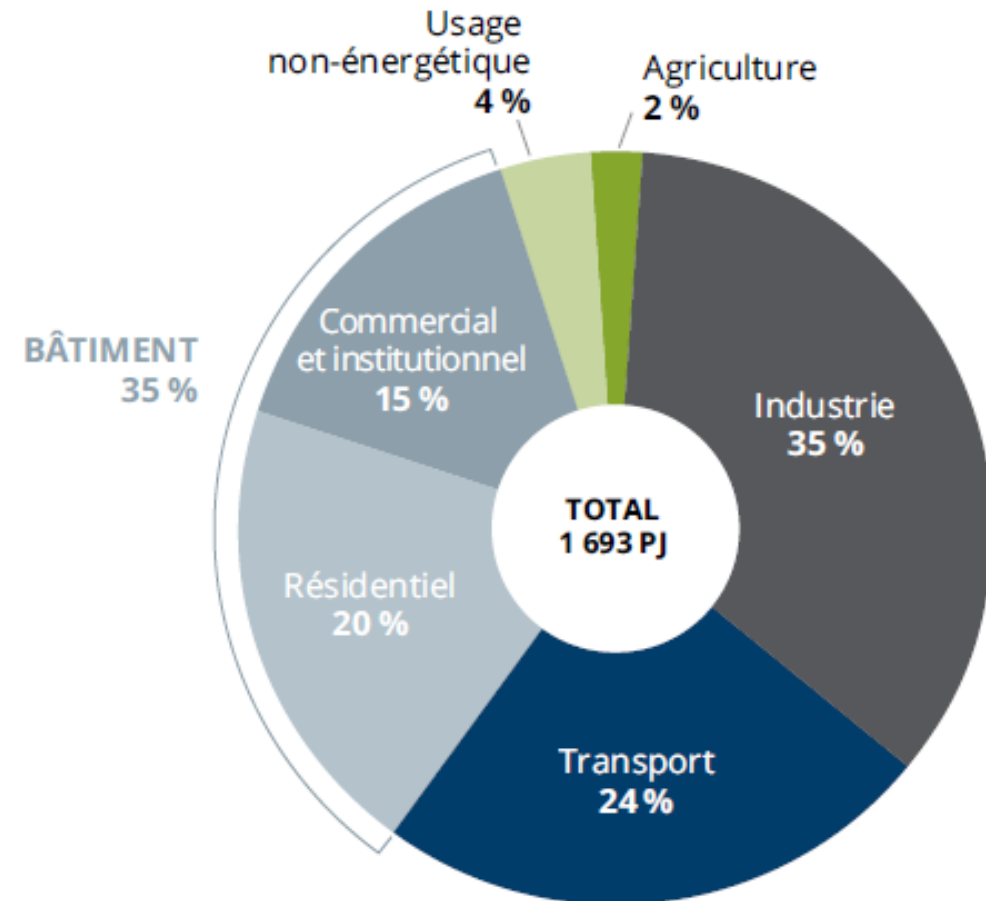
Une croissance de l'usage de la climatisation de $\pm 300\%$ au Québec entre 1990 et 2019. (1)



Un secteur industriel énergivore

Ensemble, le secteur résidentiel et institutionnel/commercial consomme autant d'énergie que le secteur industriel fortement énergivore du Québec.

L'importance énergétique relative du secteur industriel explique en partie la forte consommation d'énergie per capita au Québec.



La consommation d'énergie du secteur industriel

Les principaux usages de l'énergie dans le secteur industriel sont liés aux activités de production plutôt qu'au chauffage ou à la climatisation des bâtiments.

Cette chaleur excédentaire, souvent de haute température, peut contribuer au chauffage de locaux industriels. Deux exemples :

Après son extraction de l'alumine par électrolyse, **l'aluminium** est en fusion et est donc à haute température. En hiver, ce métal en fusion contribue donc au chauffage des locaux.

Les équipements électroniques des **centres de calcul** émettent des quantités très importantes de chaleur, qu'il faut souvent évacuer des locaux, mais qu'il est également possible de récupérer.

Le secteur industriel est – et de loin – le principal générateur de rejets thermiques au Québec.



La production de chaleur et la transition énergétique



Les chemins souvent sinueux de la production de chaleur :

La chaleur résultant de la combustion d'hydrocarbures peut servir à produire de l'électricité (dans les centrales thermiques notamment).

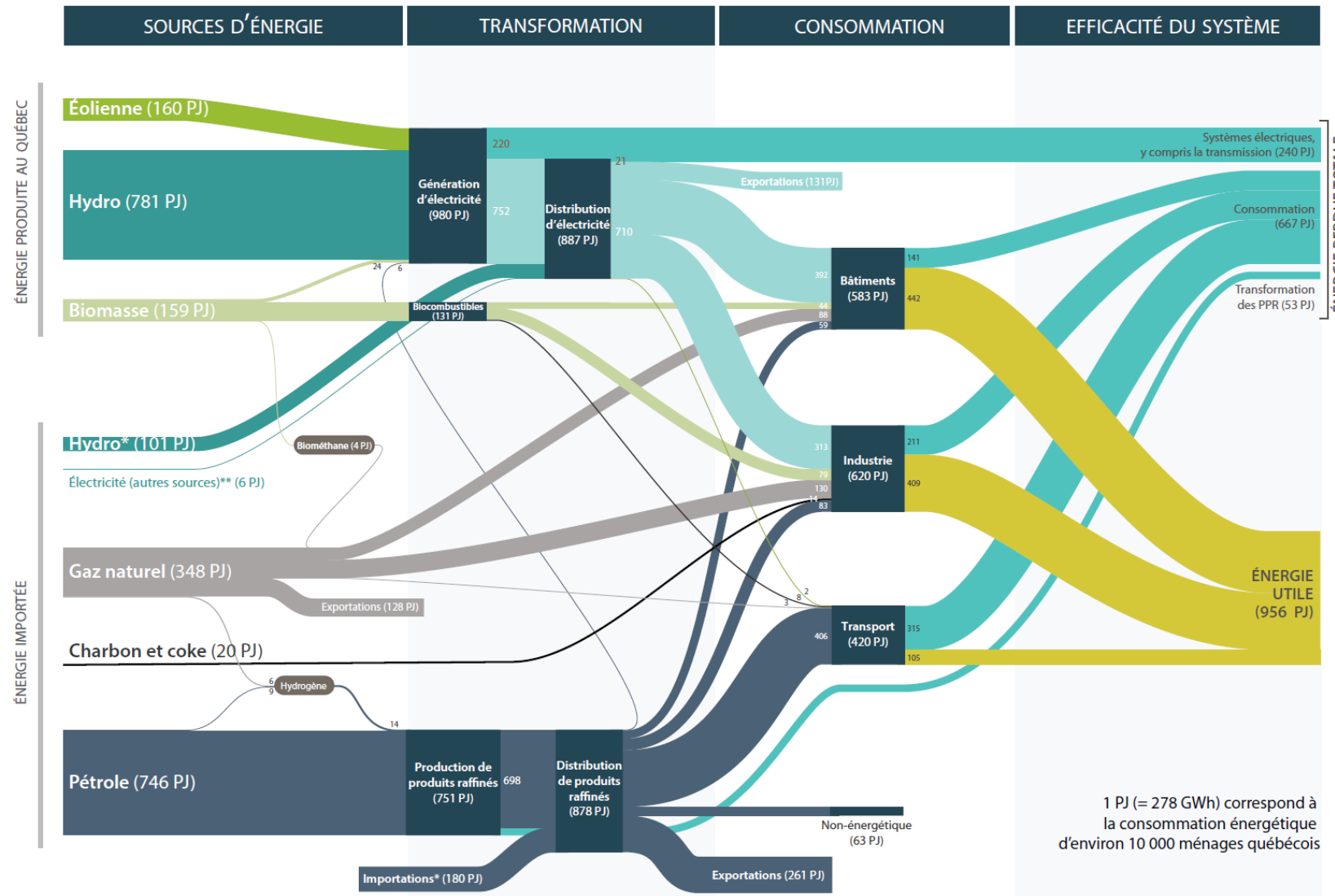
L'électricité produite dans les centrales nucléaires provient également de la chaleur générée par la fission des atomes.

Cette électricité – produite par la chaleur – est par la suite distribuée aux consommateurs par le réseau.

Rendue à destination, cette électricité sert principalement ... à produire de la chaleur. – Est-ce une utilisation efficace des ressources et respectueuse des écosystèmes?

La chaleur « naturelle » résultant de l'énergie solaire thermique est rarement prise en compte dans les bilans énergétiques.

L'État de l'énergie au Québec : Le bilan énergétique en 2020



La chaleur ne disparaît pas après usage

Une fois utilisée, une partie de la chaleur se disperse dans l'environnement et contribue à accroître l'entropie générale du système terrestre.

Cette énergie n'est pas récupérable : **cette chaleur est dite « fatale »**

En pratique, la chaleur émise par les moteurs à explosion interne des véhicules automobiles n'est pas récupérée (ou difficilement récupérable)

Par contre, **une partie de la chaleur peut être récupérée, stockée et réutilisée**. Cette chaleur peut accomplir un travail utile et **être utilisée à des fins économiques** ultérieures à celles qui ont initialement justifié sa production.

Cette chaleur demeure la plupart du temps inutilisée et sa valeur économique est gaspillée.

Au Québec, le gaspillage énergétique non lié au transport est d'abord et avant tout un gaspillage thermique.

Le fait de ne pas récupérer ce potentiel énergétique et économique accentue la pression sur tous les systèmes de production et de transport d'énergie, qui sont surutilisés pour compenser ce gaspillage.



Nicolas Carnot, père de la thermodynamique

Un objectif central : Réduire ou éliminer la chaleur à usage unique

Une approche apportant une contribution directe à l'amélioration de la productivité énergétique du Québec. ⁽²⁾

À l'instar des stratégies qui visent la réduction ou l'élimination des plastiques à usage unique, cela implique de bien comprendre et de bien maîtriser les techniques de conservation, de stockage et de récupération, ainsi que l'ensemble du cycle de vie de la chaleur non fatale :

- Distinguer les usages « primaires » des usages « subséquents » de la chaleur récupérable.
- Mesurer les coûts de la conservation, de la récupération, du stockage et de la réutilisation de la chaleur non fatale.

Il faudra identifier les gammes de température et les filières économiques pour lesquelles la chaleur peut être exploitée à des fins économiques utiles.

(2) Voir, notamment : Whitmore, J., Pineau, P.-O., Harvey, J., 2019. *Productivité énergétique – Amorcer la décarbonisation en stimulant l'économie*, Livre blanc, rapport préparé pour Transition énergétique Québec, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal.

La valeur énergétique de la chaleur fatale au Québec

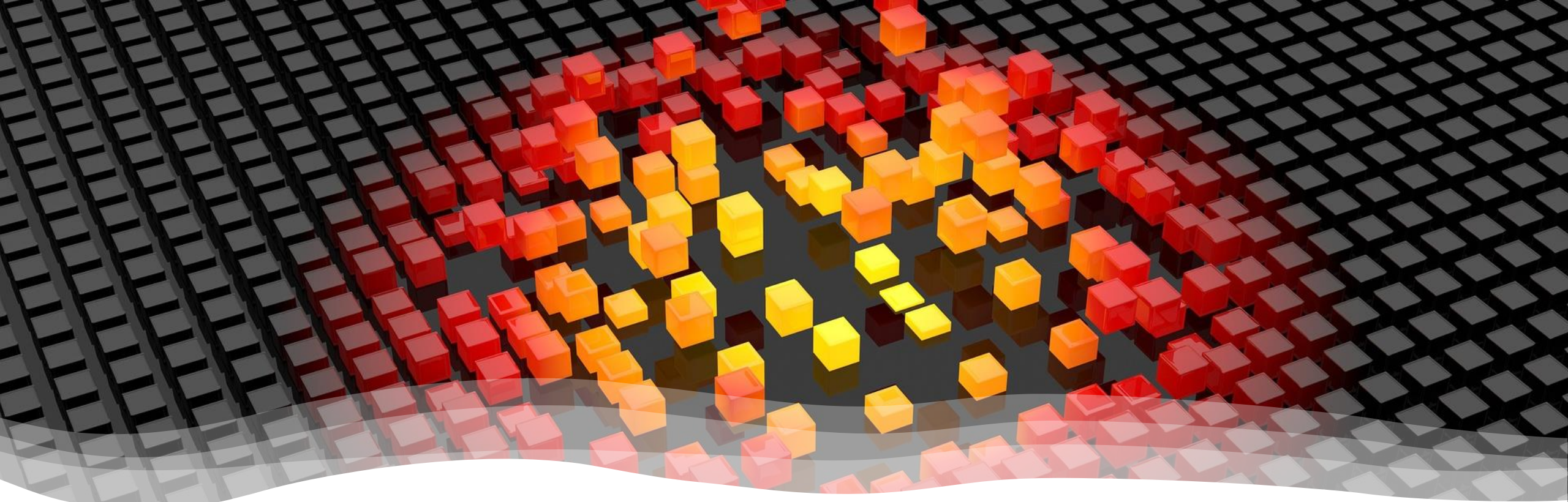
Une étude publiée en 2021⁽²⁾ a évalué les rejets thermiques valorisables produits au Québec par 170 installations industrielles et 850 stations d'épuration d'eaux usées.

Cette étude a constaté que **les rejets thermiques annuels valorisables de ces installations s'élevaient à 56,7 TWh,**

En comparaison

- L'ensemble des **besoins en chaleur** pour le chauffage des locaux du secteur résidentiel est de **56,0 TWh**.
- Les **besoins en chaleur** des bâtiments résidentiels, commerciaux et industriels (incluant les serres) s'élevaient à **± 100 TWh**.
- Les **besoins en électricité** du Québec s'élevaient à **192 TWh en 2022**.
- **En 2032**, les **besoins additionnels** prévus sont de **29,5 TWh**.

(2) Voir : Polytechnique Montréal, Université de Montréal, CTTEI, CIRAIG, *Évaluation du potentiel de valorisation des rejets thermiques au Québec*, réalisée pour le compte du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec, Août 2021



Les six volets d'une stratégie thermique pour le Québec

Deuxième partie

Les composantes d'une stratégie thermique

Volet 1 – La production de chaleur

Volet 2 – La chaleur comme enjeu de l'efficacité et de la productivité énergétiques

Volet 3 – La récupération des rejets thermiques

Volet 4 – Le stockage de la chaleur

Volet 5 – L'énergie et le stockage géothermique

Volet 6 – Les districts énergétiques





Volet 1

La production de chaleur



La production primaire de chaleur

La production « artificielle » de **chaleur est répartie inégalement** selon les saisons dans les régions tempérées :

- Elle est en **excédent l'été**, au point où il faut souvent l'évacuer des bâtiments (en les climatisant) ou la gérer dans le cas des îlots de chaleur urbains.
- Elle est en **déficit l'hiver**, ce qui justifie d'en produire avec une source artificielle de chaleur (renouvelable ou non).

La chaleur naturelle est carboneutre, mais il faut tenir compte de l'empreinte carbone des systèmes nécessaires à sa récupération ou à son stockage.

L'incapacité de stocker la chaleur excédentaire estivale et de la récupérer en hiver est un facteur déterminant des besoins de production d'énergie et de la productivité énergétique globale.



Deux approches : le chauffage résistif ou la gestion de la chaleur

Le **chauffage résistif** (chauffage électrique conventionnel) repose sur l'énergie thermique associée à la résistivité de conducteurs.

La chaleur résulte de la conversion d'une énergie électrique en énergie thermique au moyen de plinthes (qui chauffent directement l'air ambiant) ou de chaudières qui chauffent de l'eau ou de l'huile, qui est distribuée par des radiateurs dans un bâtiment ou dans des équipements qui ont besoin de chaleur.

La **gestion de la chaleur** par une **thermopompe**, alimentée à l'électricité, cherche à déplacer l'énergie thermique d'un endroit à un autre et de la concentrer :

Pour chauffer un local ou un équipement en y déplaçant une chaleur extraite d'un milieu extérieur à ce lieu.
Pour climatiser ou réfrigérer, en inversant la circulation de la chaleur.

Sur le plan énergétique, **une thermopompe est de trois à cinq fois plus efficace que le chauffage résistif**, parce que le **déplacement** de chaleur demande beaucoup moins d'énergie que sa **production**.

Toutefois, le coût des différents modèles thermopompes demeure élevé. Des efforts de R&D et l'augmentation des volumes de production pourront réduire cette pression économique à relativement court terme. (3)

L'effet « thermique » du développement du réseau hydroélectrique de la Baie James et du Labrador

Dans les années 1970, la mise en exploitation des complexes hydroélectriques de la **Baie James** et de **Churchill Falls** ont rendu disponibles d'importantes quantités d'électricité bon marché.

- Un vaste programme de conversion des systèmes résidentiels de chauffage a alors permis d'électrifier la très grande partie du chauffage des maisons au Québec à des prix très avantageux.
- Pour l'essentiel, cette électrification a alors reposé sur le chauffage résistif, tantôt par des **plinthes**, tantôt par des **radiateurs à eau chaude** ou à **bain d'huile**, qui convertissent près de 100 % de l'énergie électrique en énergie thermique.

Cette technologie s'avère toutefois moins performante et plus énergivore que celle des thermopompes.



Un programme ambitieux de conversion des systèmes de chauffage résistif vers des thermopompes de nouvelle génération pourrait réduire la pression que la demande en chaleur exerce sur le réseau électrique en pointe hivernale.

Les enjeux de l'implantation des thermopompes au Québec

Les thermopompes « *ne peuvent avoir qu'un impact limité sur les pointes de consommation liées aux grands froids* »⁽⁴⁾. Toutefois, des thermopompes de nouvelle génération, pouvant demeurer efficaces par temps froid (jusqu'à -20° ou -30° C), commencent à faire leur entrée sur le marché nord-américain.

L'efficacité des thermopompes décroît avec la température.

Par ailleurs, **en associant les thermopompes à des systèmes de stockage thermique saisonnier**, il est possible de récupérer la chaleur qu'elles produisent lorsqu'elles fonctionnent à leur capacité optimale, de la stocker pour une période assez longue, puis de la récupérer lors des périodes de grand froid.

- De tels systèmes combinant des thermopompes et des accumulateurs de chaleur sont déjà disponibles au Québec pour des période de stockage de court terme (\pm une journée).
- Des systèmes saisonniers qui transportent la chaleur estivale vers la saison hivernale commencent à se développer dans des pays nordiques ;
- Il faut toutefois que les systèmes de stockage saisonniers n'aient pas de pertes thermiques trop importantes

Les surplus de chaleur estivale peuvent donc avoir une valeur économique s'ils sont « transportables » vers la saison hivernale

(4) Source : État de l'énergie 2022, p. 20



Volet 2

La chaleur comme enjeu de l'efficacité et de la productivité énergétiques



La réduction des pertes thermiques et la productivité énergétique

L'un des principaux objectifs des stratégies d'efficacité énergétique est de **réduire les pertes thermiques** (par exemple en agissant au niveau de l'enveloppe des bâtiments).

En réduisant ces pertes, il est également possible de réduire les besoins énergétiques pour produire la chaleur primaire nécessaire pour le fonctionnement des bâtiments, des équipements et des procédés industriels.

Toute stratégie thermique au Québec doit être accompagnée d'un effort accru de façon très significative en matière d'efficacité ou de productivité énergétiques.



Hydro-Québec doit combler les retards accumulés par rapport à la plupart des « utilités publiques » nord-américaines.



Les tarifs résidentiels d'Hydro-Québec : des avantages, mais aussi des inconvénients ⁽⁵⁾

(5) Hydro-Québec, Comparaison des prix de l'électricité dans les grandes villes nord-américaines (tarifs en vigueur le 1er avril 2022), p. 4

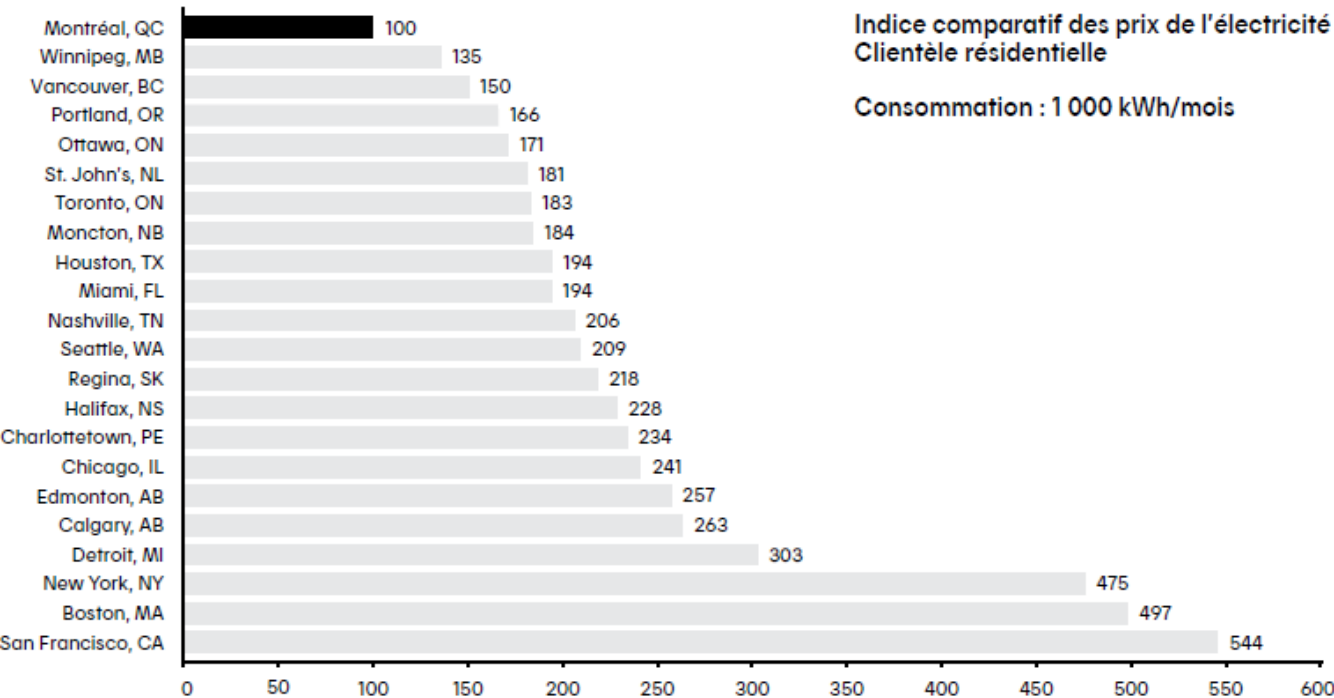


Symboles utilisés

- AB Alberta
- BC Colombie-Britannique
- CA Californie
- FL Floride
- IL Illinois
- MA Massachusetts
- MB Manitoba
- MI Michigan
- NB Nouveau-Brunswick
- NL Terre-Neuve-et-Labrador
- NS Nouvelle-Écosse
- NY New York
- ON Ontario
- OR Oregon
- PE Île-du-Prince-Édouard
- QC Québec
- SK Saskatchewan
- TN Tennessee
- TX Texas
- WA Washington

- 1) Pour une consommation mensuelle de 1 000 kWh; tarifs en vigueur le 1^{er} avril 2022.
- 2) Prix moyens avant taxes.
- 3) En monnaie canadienne.

Les tarifs résidentiels d'Hydro-Québec : des avantages, mais aussi des inconvénients (6)



En 2022, les tarifs résidentiels à Montréal étaient :

- Presque deux fois moins élevés qu'à Toronto
- Environ cinq fois moins élevés qu'à Boston, New York ou San Francisco.

L'économie nette réalisée à la suite d'un investissement en efficacité énergétique prend plus de temps à être récupéré au Québec qu'ailleurs en Amérique du Nord.

Ce constat vaut également pour la plupart des tarifs non résidentiels ou pour ceux applicables aux grands utilisateurs.

(6). Hydro-Québec, Comparaison des prix de l'électricité dans les grandes villes nord-américaines (tarifs en vigueur le 1er avril 2022), p. 11

Les tarifs d'Hydro-Québec : une médaille à deux revers



La disponibilité d'une électricité carboneutre, abondante et bon marché constitue à la fois un **avantage** et un **inconvenient** sur le double plan climatique et économique.



Les tarifs **réduisent les coûts** que doivent assumer les consommateurs (ménages et entreprises) pour avoir accès à une énergie relativement « propre ».

Les tarifs **encouragent et induisent d'importants gaspillages énergétiques et économiques**, en plus de rendre difficile la récupération des coûts associés à l'innovation ou à l'amélioration de l'efficacité et de la productivité énergétiques.

Numéro de compte	Numéro de facture	Numéro de client	Page
			1 de 3

Facture d'électricité du 31 mai 2021	
SOMMAIRE DU COMPTE	
Montant de la facture précédente	1 225,89 \$
Paiement reçu le 12 mai 2021 – Merci	-612,95 \$
Montant dû immédiatement	612,94 \$

SOMMAIRE DE LA PRÉSENTE FACTURE	
Le détail de la consommation est présenté plus loin.	
Coûts de l'électricité	167,00 \$
TPS (n° 11944 9775 RT0001) – 5,0 %	8,35 \$
TVQ (n° 1000042605 TQ0020) – 9,975 %	16,66 \$
Frais d'administration	9,55 \$
Montant de la présente facture	201,56 \$



Volet 3

La récupération des rejets thermiques au Québec



Trois exemples de récupération des rejets thermiques au Québec



Les Serres Tundra (Saint-Félicien)



L'Hôpital l'Enfant-Jésus (Québec)



Le Centre de traitement de données QScale (Lévis)



La récupération des rejets thermiques

Un exemple d'**économie circulaire** et de **boucles énergétiques**

Le gouvernement du Québec a récemment produit et mis en ligne une **carte interactive** (incluant une base de données) sur les rejets et sur les besoins thermiques au Québec. Cette carte est disponible à l'endroit suivant :

[Carte des rejets et des besoins thermiques \(arcgis.com\)](https://arcgis.com)

Transition énergétique Québec a lancé un appel de propositions et a mis en place un programme de subventions pour des **projets de valorisation des rejets thermiques** venant d'entreprises privées ou publiques.

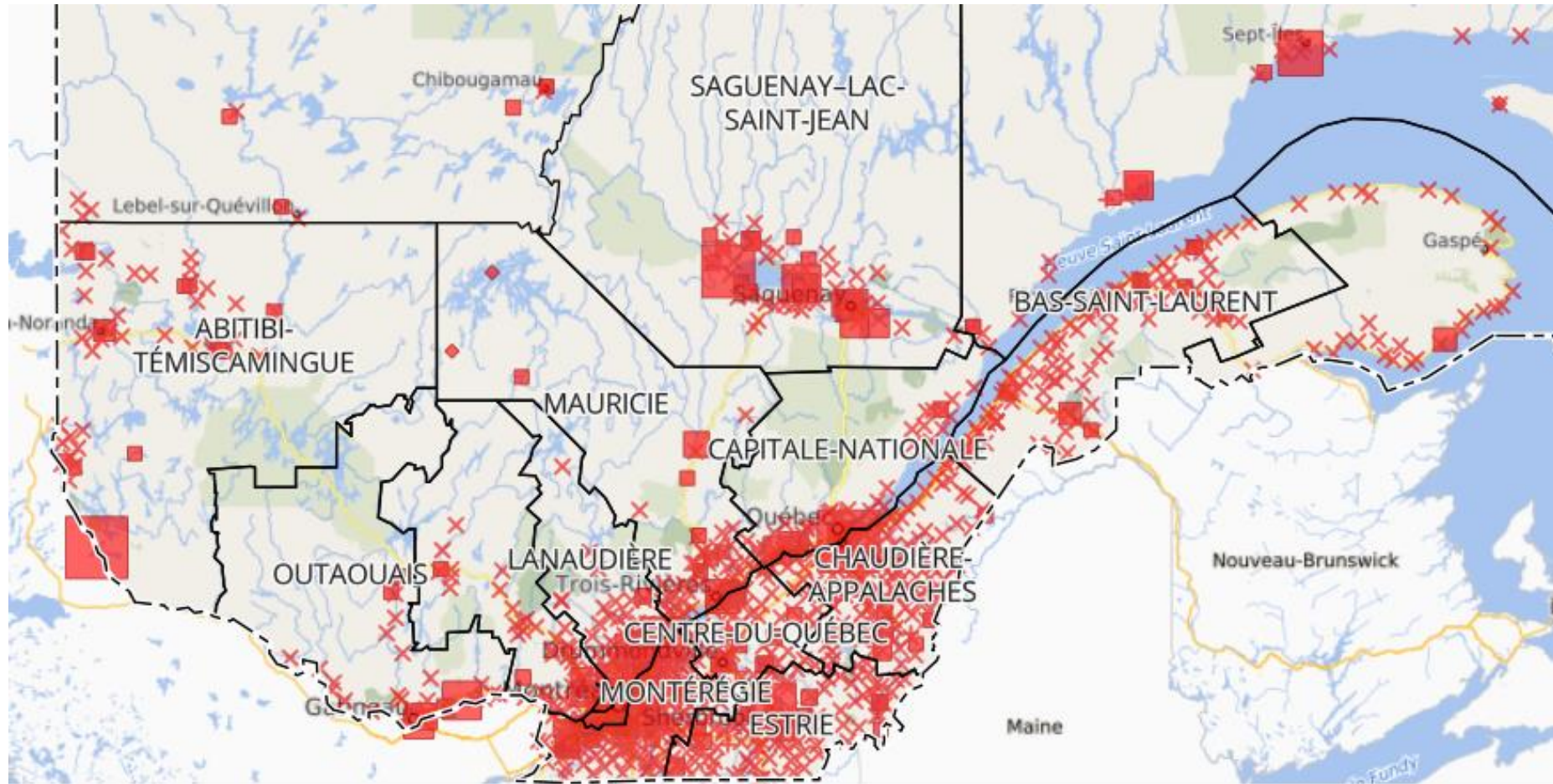
Enveloppe de l'ordre de 160 M\$ et échéance mars 2026 pour la présentation de projets;

Clientèles admissibles : Entreprises (incluant agricoles), organismes, institutions, municipalités.

[Projets de valorisation des rejets thermiques en cours | Gouvernement du Québec \(quebec.ca\)](https://quebec.ca)

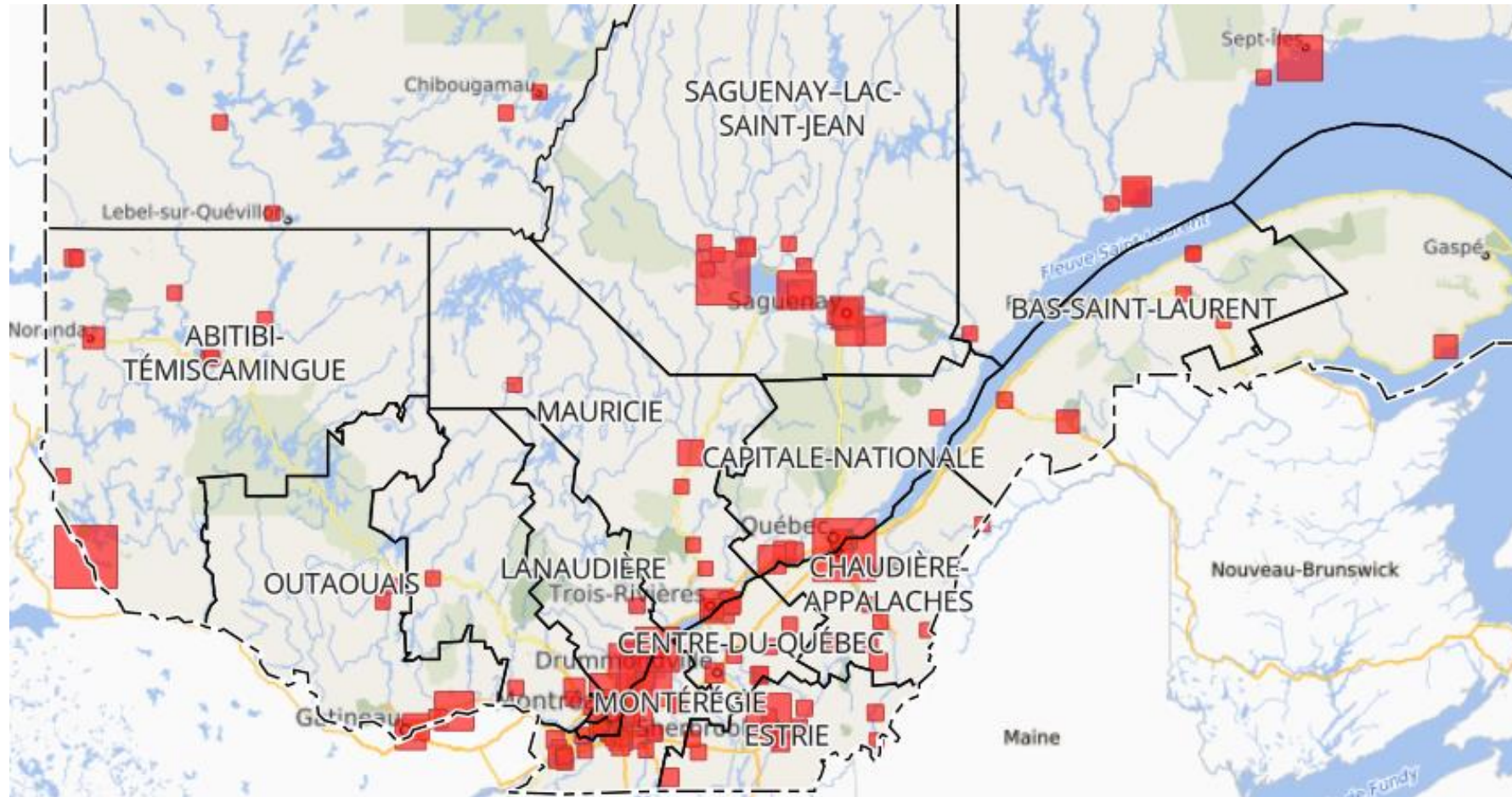
De très intéressantes **synergies** à mettre en œuvre avec les **districts énergétiques** (qui seront traités plus loin dans cette présentation).

Des rejets thermiques : il y en a partout au Québec

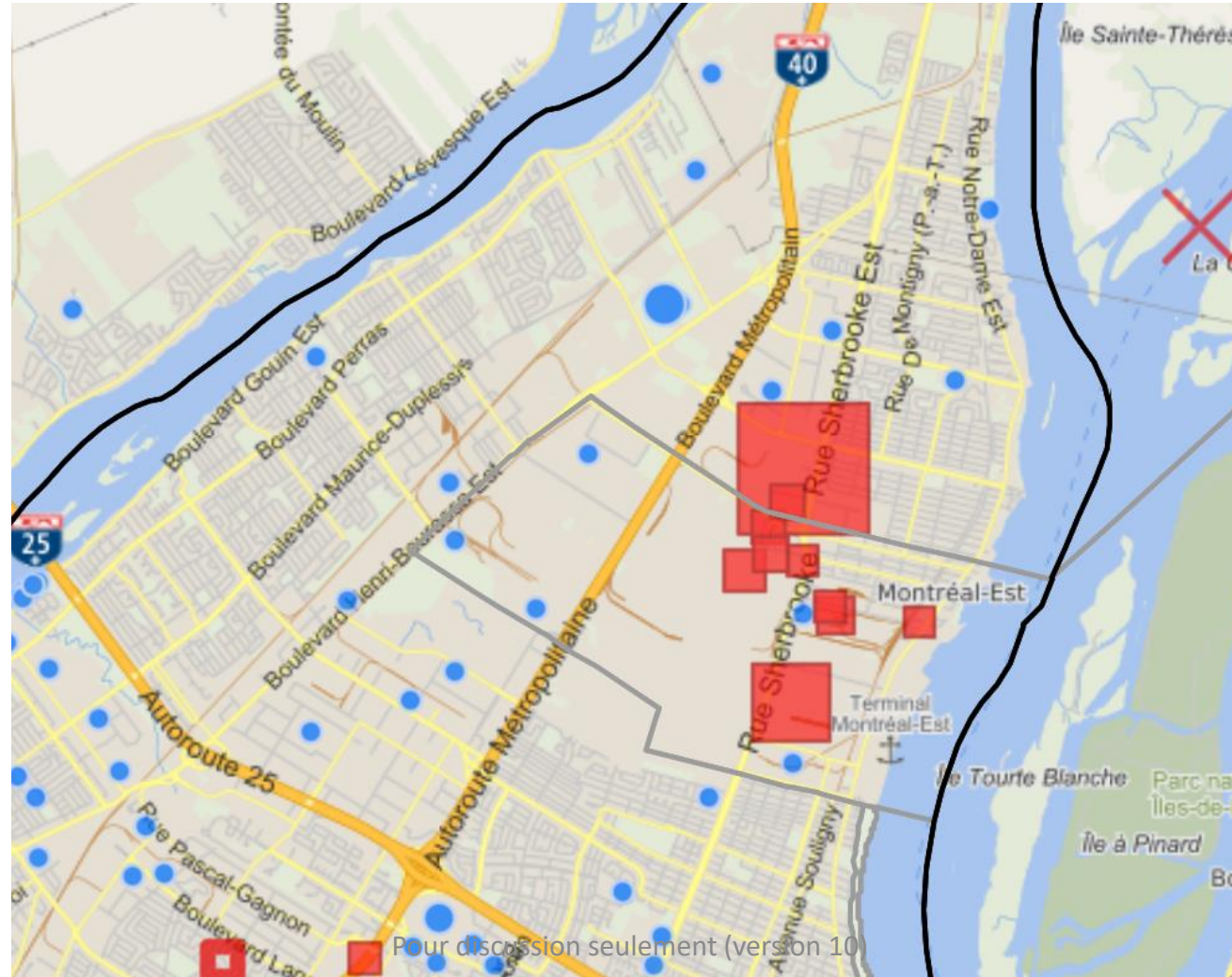


Source : <https://experience.arcgis.com/experience/10161152f04c415daeac66d6fb21832d>

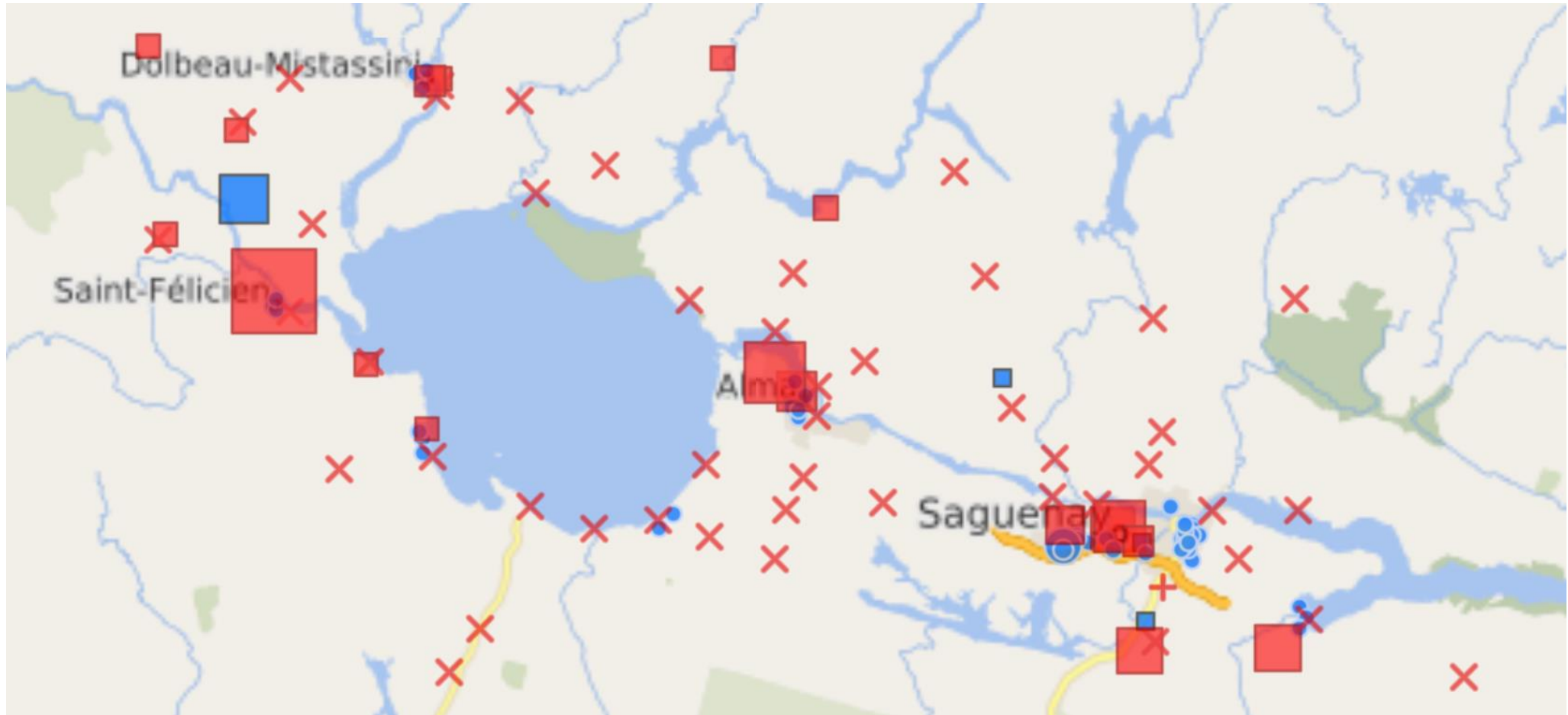
Les principaux émetteurs thermiques industriels au Québec



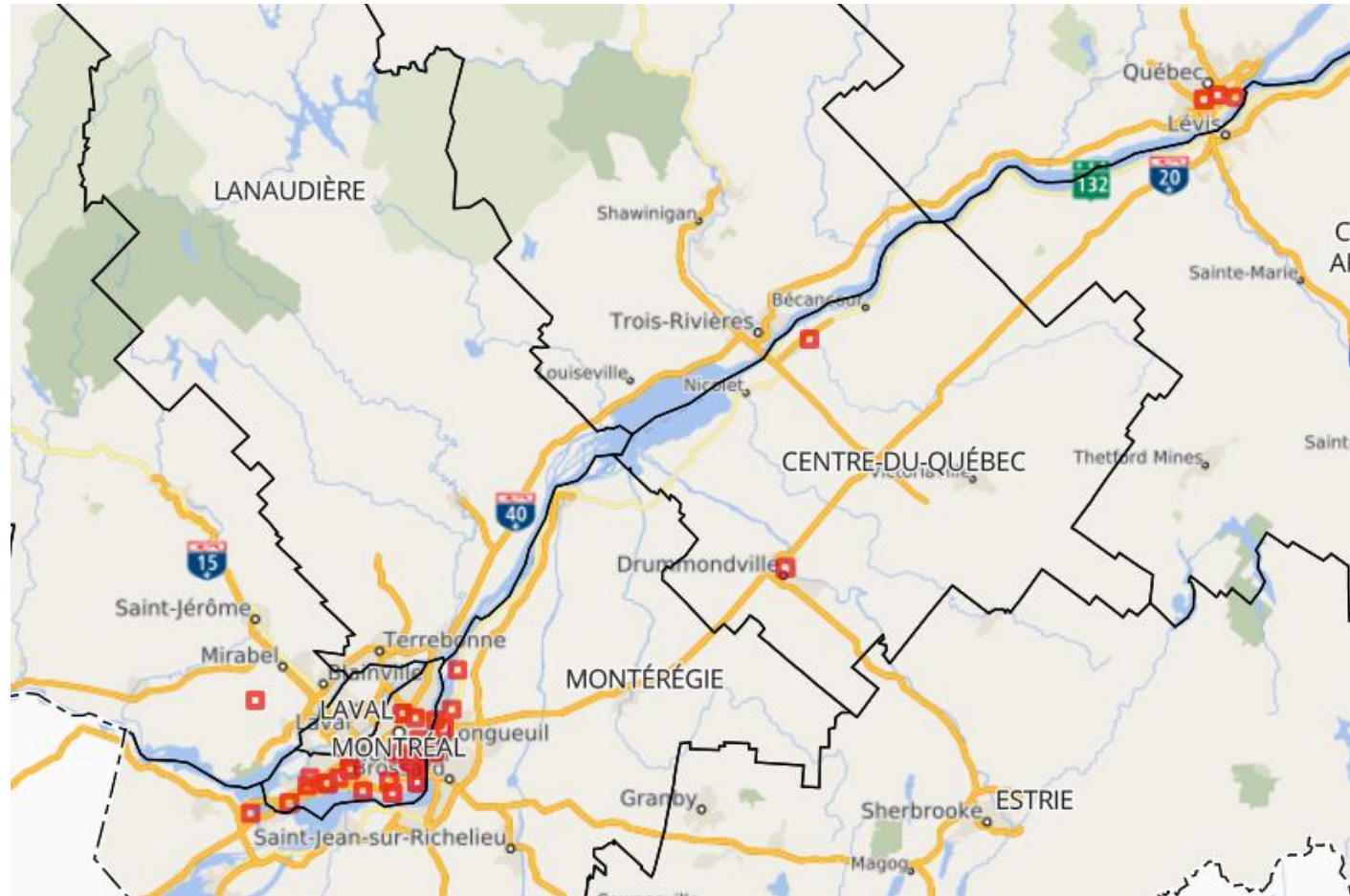
Les rejets thermiques dans l'Est de Montréal



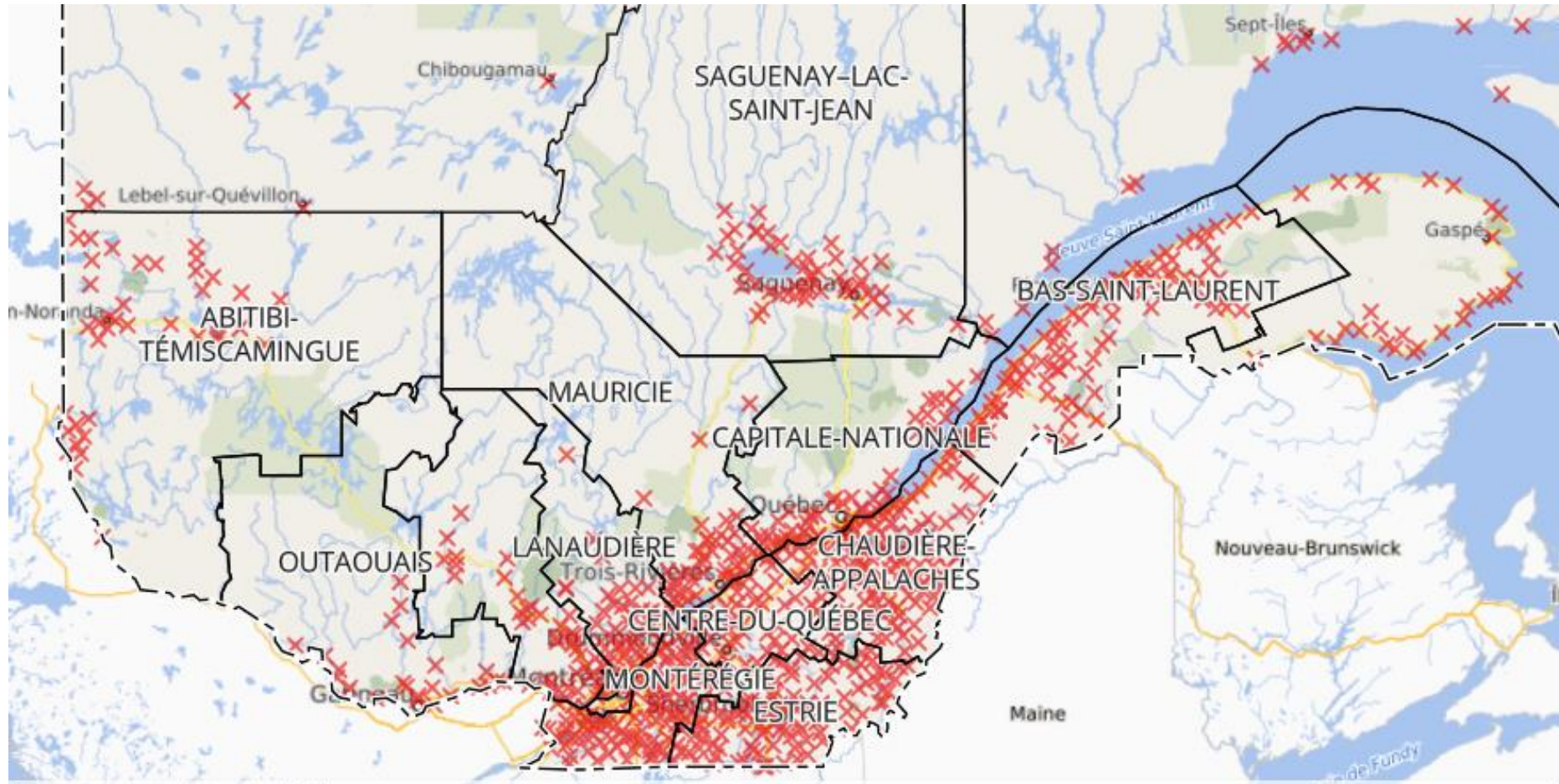
Les rejets thermiques au Saguenay – Lac-St-Jean



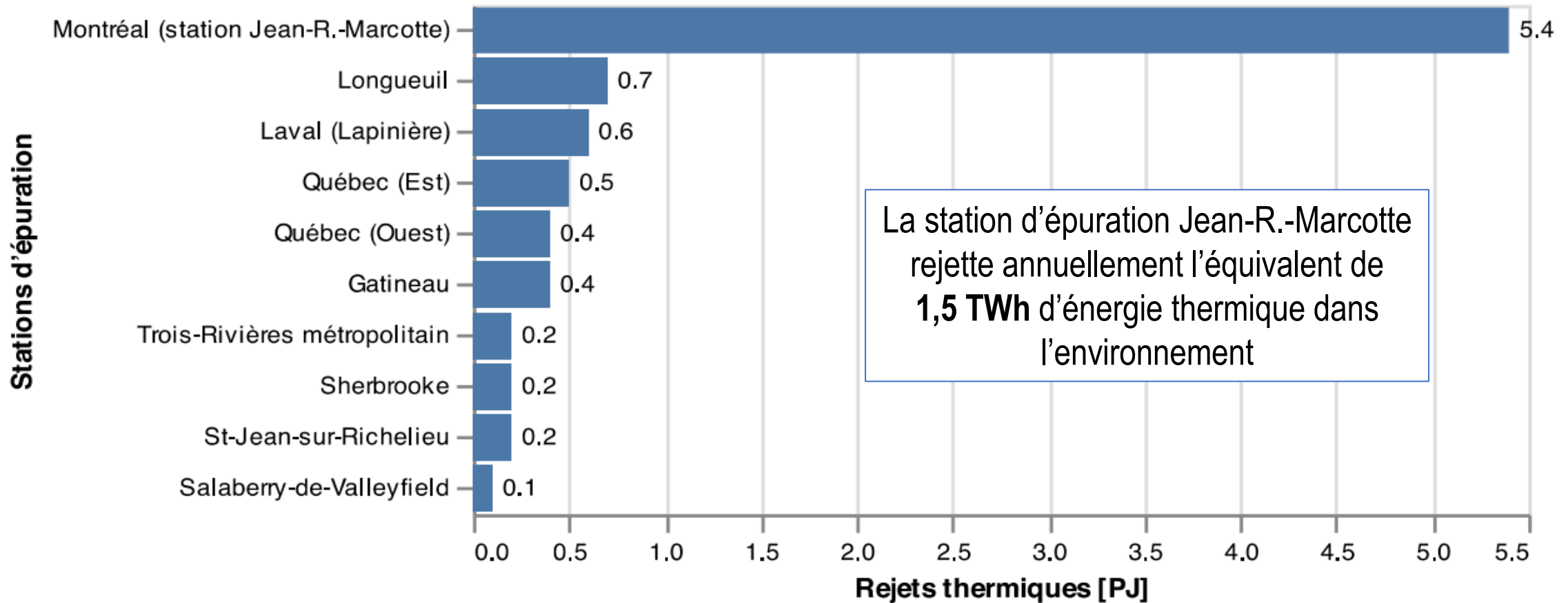
Les rejets thermiques des centres de calcul



Les rejets thermiques des usines de traitement des eaux usées



Le potentiel économique inexploité des usines de traitement des eaux usées



Source : Polytechnique, UdeM, CTTEI, CIRAI, Évaluation du potentiel de valorisation des rejets thermiques au Québec, Rapport final, août 2021, page 25. Un pétajoule (PJ) correspond à 278 GWh, soit la consommation énergétique de quelque 10 000 ménages québécois. Ainsi, à elle seule, l'usine Jean-R.-Marcotte de Montréal dispose d'un potentiel thermique de 1,5 TWh (soit la consommation de quelque 54 000 ménages, soit un peu moins que l'arrondissement montréalais de Ahuntsic-Cartierville [± 59 000 ménages]).

La récupération des rejets thermiques et la serriculture au Québec

Les stratégies de **transition énergétique** et d'**autonomie alimentaire** peuvent bénéficier de synergies l'une envers l'autre.

La **récupération de rejets thermiques** (de haute ou de basse température) d'installations industrielles ou commerciales permet d'alimenter des serres maraichères (ou autres) à l'année longue, ce qui peut exiger :

- Le recours à un **équipement de stockage thermique** (isotherme) pour transférer les surplus de chaleur de l'été vers la saison hivernale.
- Des **serres quatre-saisons performantes** pouvant récupérer cette chaleur en hiver (période « endothermique ») et la stocker en été (période « exothermique ») – dont le modèle de serres hollandaises.
- **Une proximité relative entre les sites émetteurs et les sites consommateurs.** ⁽⁶⁾

Les **sources de chaleur « stockable »** : équipements industriels (pétrochimie, alumineries, pâtes et papiers, etc.), centres de calcul, usine de traitement des eaux usées, incinérateurs et sites d'enfouissement de déchets et de façon générale, toute chaleur non « fatale » rejetée en quantité suffisante.

(6) Pour une évaluation des besoins thermiques des serres au Québec, voir : Polytechnique, UdeM, CTTEI, CIRAIG, *Évaluation du potentiel de valorisation des rejets thermiques au Québec*, Rapport final, août 2021, p. 37

La récupération des rejets thermiques et les espaces industriels au Québec

Les parcs industriels conventionnels ont une approche visant à mettre en valeur la localisation de leur site et à fournir des services de gestion du territoire.



Une **nouvelle génération d'espaces industriels** permettra de miser sur les synergies énergétiques pouvant être développées entre les différents occupants :

- Occupants « **exothermiques** » vs occupants « **endothermiques** ».
- Implantation de **districts énergétiques** adaptés à des occupants industriels (incluant serriculture, usines de traitement des eaux usées, incinérateurs, bioingénierie, fermentation, mycotechnologies, etc.).
- De tels espaces peuvent être conçus pour être globalement **carboneutres**, voire « zéro émissions », surtout s'ils incluent des capacités de stockage thermique à court, moyen et long termes.

De tels espaces industriels peuvent utiliser le potentiel de **stockage géothermique** des mines fermées et inondées, par exemple.



Volet 4

Le stockage thermique



Le stockage thermique et les accumulateurs de chaleur



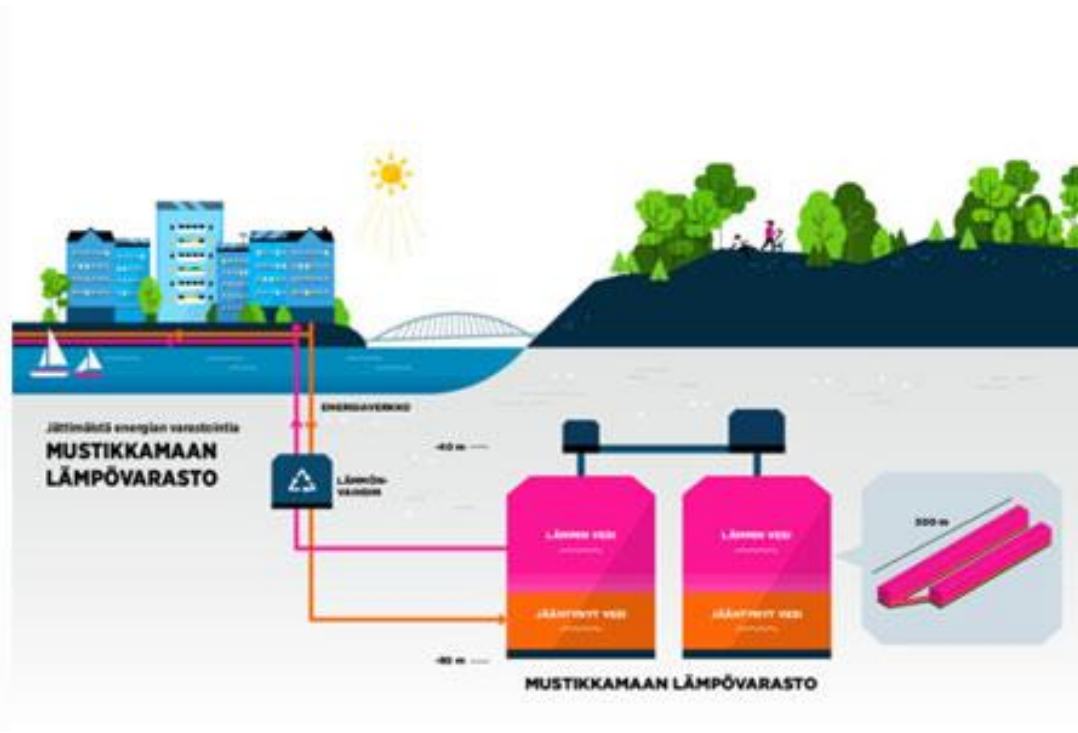
Il existe des formes de stockage thermique adaptés à des ***cycles circadiens*** :

- Hydro-Québec **subventionne le remplacement** de systèmes de chauffage central électrique conventionnels par des systèmes à accumulation thermique (système *Steffes*) (7).
- Ces systèmes utilisent principalement un stockage thermique de **court terme** et permettent le lissage des pointes de puissance d'Hydro-Québec en hiver.

LÉGENDE

- 1 : Échangeur d'une thermopompe
- 2 : Isolation
- 3 : Masse (qui sert au stockage thermique)
- 4 : Éléments électriques (pour chauffer la masse)
- 5 : Ventilateur de circulation

Le système de stockage thermique de Mustikkamaa à Helsinki



L'exemple de l'île de Mustikkamaa à Helsinki

Les systèmes de stockage saisonniers ont pour avantage principal de faciliter la gestion des pointes hivernales.

L'enjeu principal est de se doter de **capacités de stockage isothermes saisonniers de grande capacité** et de les coupler avec des systèmes efficaces de distribution thermique.

Il faut évaluer et tenir compte des **pertes thermiques** associées à de tels systèmes de stockage de longue durée :

- Des systèmes de stockage isothermiques saisonniers de grande capacité, la plupart du temps souterrains, peuvent avoir des pertes de quelque 30 %.
- Un programme de R&D pourrait viser à réduire ces pertes et à diminuer les coûts nets et le bilan énergétique du stockage thermique saisonnier.

Le système de stockage thermique de Vattenfall à Berlin



Source : [Vattenfall starts filling up 200MW thermal storage tower in Berlin \(energy-storage.news\)](https://energy-storage.news)

La société suédoise Vattenfall a récemment complété un projet de « thermos » qui contiendra 56 millions de litres d'eau qui est portée à une température de 98° C. **La capacité de stockage d'énergie thermique est de 200 MW.**

Il s'agit d'un **stockage circadien** où l'eau est chauffée par l'énergie de sources locales hors pointe (éoliennes, en particulier) et est directement injectée dans un **district énergétique**, pour être distribuée dans les résidences berlinoises.

Contrairement au système de Helsinki, cet équipement berlinois repose sur une stratégie de stockage à court terme et s'inscrit dans une approche de « lissage » de la pointe hivernale.

En enfouissant un tel équipement isotherme, il serait possible d'allonger la durée du stockage.

Le stockage thermique, plus simple et moins coûteux



(1) Source : <https://polarnightenergy.fi/technology>

Le **sable** peut servir au **stockage de chaleur** sur des cycles saisonniers.

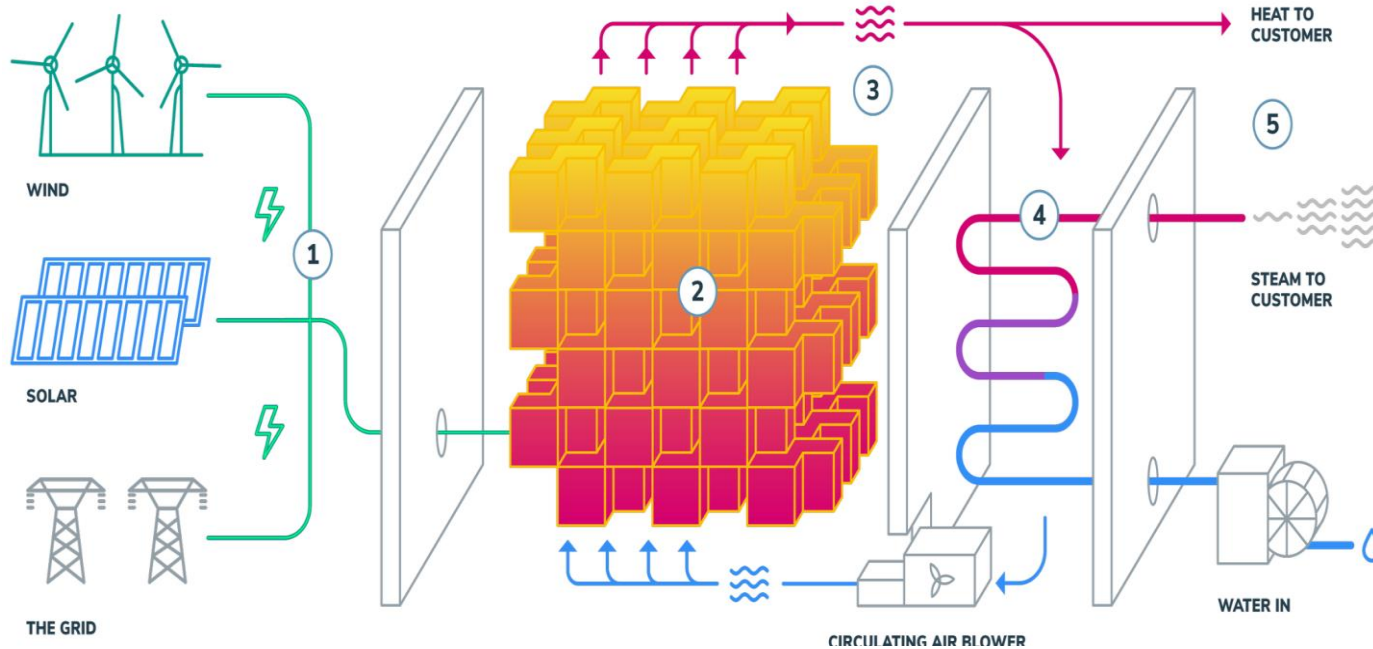
Le système de Polar Night Energy en Finlande est **adapté à des capacités de stockage allant jusqu'à 20 GWh**. Dans ce système, le sable peut être chauffé à des températures pouvant atteindre ou dépasser **1 000°C**. (1)

De tels systèmes sont bien adaptés à une utilisation dans des districts énergétiques de dernière génération.

Le stockage thermique peut s'appuyer sur des **technologies plus simples et sur des matériaux moins coûteux** que le stockage de l'énergie électrique (exemple du lithium).

En général, le stockage électrique ne devrait donc pas être utilisé pour des fins thermiques.

Des batteries thermiques de grande puissance



La société américaine **Rondo Energy** stocke et concentre l'énergie thermique produite par des sources intermittentes (solaire, éolienne) et par l'électricité du réseau, **jusqu'à des températures de l'ordre de 1 500° C.**

Cette chaleur stockée est par la suite distribuée, sous forme de vapeur ou d'eau chaude, dans des **districts énergétiques.**

Ce système de stockage utilise des **modules en brique** pour accumuler et conserver la chaleur. Les briques servent depuis très longtemps au **stockage de chaleur**, on pense aux fours domestiques chauffés au bois ou à la biomasse.

L'autre versant du stockage thermique : le stockage saisonnier du froid



*Le commerce de la glace à New York
(F. Ray, Harper's Weekly, août 1884)*

Au Québec, en Nouvelle-Angleterre et en Norvège, la **conservation de la glace a permis l'émergence d'un marché du froid** au XIX^{ème} siècle, avant le développement de la réfrigération.

- La glace récoltée dans des lacs gelés était entreposée dans des glacières isolées avec de la sciure de bois provenant de moulins près de voies ferrées. **C'était le cas dans le village de Disraeli, près de Thetford Mines.**
- Des distributeurs de glace en faisaient le commerce à l'année longue dans les villes du Québec
- **En Nouvelle-Angleterre**, la glace récoltée en hiver était écoulee dans les villes américaines et exportée dans les Antilles, en Europe, en Asie et jusqu'en Australie.

Une nouvelle génération de « batteries de glace »



L'ancien bureau de poste de Chicago, maintenant alimenté par une « batterie de glace »

La **société Enwave** utilise l'énergie électrique pendant la nuit – hors des périodes de pointe – pour produire et entreposer de la glace sous le bâtiment de **l'ancien Bureau de poste de Chicago**.

En fondant pendant le jour, cette glace alimente le bâtiment en eau froide qui sert, notamment, à sa climatisation. Ce bâtiment de quelque 2,8 millions de pi^2 a ainsi été transformé en espace de bureau de classe « A » et de locaux commerciaux.

D'autres projets de batteries de glace d'envergure (d'une puissance supérieure à 250 MW) ont été complétés ou sont en cours de construction aux États-Unis.

De tels projets de stockage de froid à court terme voient le jour aux États-Unis dans un contexte où, contrairement au Québec, les pointes de la demande en énergie sont associées à la climatisation (ou au refroidissement) estivale, plutôt qu'au chauffage hivernal.



Volet 5

L'énergie et le stockage géothermique



Un parent pauvre au potentiel sous-estimé



Les formations géologiques du Québec ne permettent pas d'avoir facilement accès à des températures très élevées permettant, par exemple, de produire de la vapeur et de l'électricité. **Les projets québécois concernant les ressources géothermiques sont donc demeurés très modestes à ce jour.**

Les températures disponibles dans les formations géologiques québécoises demeurent constantes sur une base annuelle (typiquement entre 5° et 15° C) et se situent à mi-chemin entre les températures estivales ($\pm 20^\circ$ C) et les températures hivernales ($\pm -10^\circ$ C).

En utilisant des thermopompes géothermiques, il est possible de chauffer des bâtiments ou des équipements en hiver, et de les climatiser en été.

Des stratégies thermiques basées sur l'énergie **géothermique à basse température** peuvent être carboneutres.

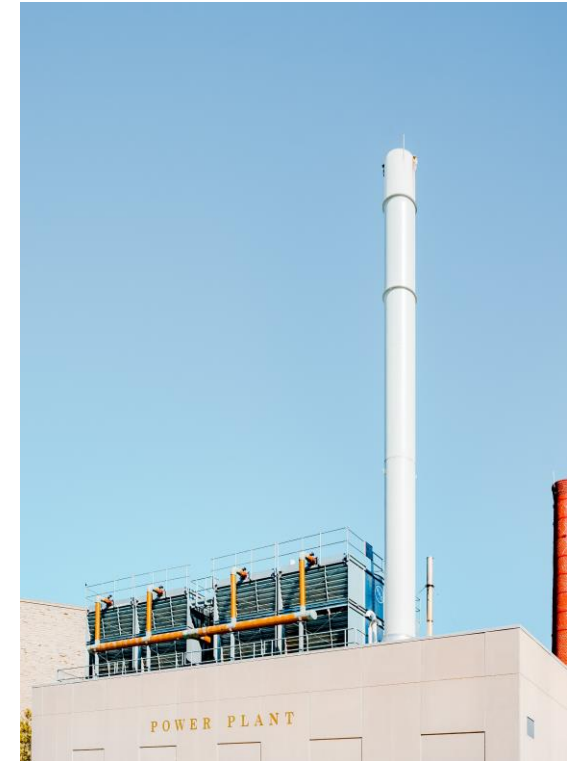
Une source stable d'énergie thermique renouvelable

Contrairement à la grande majorité des sources renouvelables qui sont intermittentes, **l'énergie géothermique (à haute comme à basse température) est stable, à la fois sur des cycles circadiens ou saisonniers.**

En outre, **le stockage géothermique de l'énergie** peut se réaliser au sein de réservoirs souterrains aménagés ou exploités à ces fins.

Les thermopompes géothermiques permettent de **concentrer l'énergie thermique et de l'amplifier**, surtout dans les cas de géothermie à basse température comme il en existe au Québec. Elles permettent des **économies d'énergie de 60% en chauffage et 40% en climatisation.**

Les coûts associés à l'exploitation du potentiel géothermique sont de deux ordres : les **coûts de forage** (qui peuvent être assez élevés) et les **coûts associés à l'installation et au fonctionnement** des thermopompes géothermiques.



Le stockage géothermique saisonnier d'énergie peut se réaliser en présence de réservoirs souterrains.



Le Québec a une longue histoire minière et son territoire comprend des **centaines de mines fermées et de forages pétroliers**. À la fin de leur exploitation, ces infrastructures souterraines ou à ciel ouvert s'inondent et contiennent de grands volumes d'eau à température constante ($\pm 5^\circ$ à 15°). (Estrie, région de l'Amiante, Abitibi-Témiscamingue, Jamésie, Côte Nord, Bas Saint Laurent, Gaspésie)

Le recours à des **thermopompes géothermiques** permet d'exploiter le potentiel thermique de cette eau dont la température permet de chauffer (en hiver) et de refroidir (en été) des bâtiments, des serres ou des équipements industriels

Une fois fermées ou dans le processus de leur fermeture, ces **mines fermées** peuvent être aménagées comme système de **stockage thermique** à moyen et long termes. Une expertise de pointe en cette matière a été développée à l'**INRS Eau-Terre-Environnement de Québec**

La géothermie minière peut **faire partie des obligations de restauration des sites miniers fermés** et contribuer au **développement régional de villes et de régions dévitalisées**



Volet 6

Les districts énergétiques



Les districts énergétiques (aussi appelés *réseaux de chaleur* ou *boucles énergétiques*) sont relativement peu développés au Québec

Les premiers de ces districts énergétiques comportaient trois grands éléments :

- Une **centrale thermique** ;
- Un **réseau souterrain de distribution de chaleur ou de froid** ;
- Des **interconnexions avec les immeubles** utilisant cette énergie.

Le développement et la mise en place de districts énergétiques sobres en carbone devrait faire **partie intégrante de la conception et de l'aménagement nouveaux écoquartiers** (comme le projet de l'Hippodrome à Montréal).

Les immeubles raccordés peuvent être :

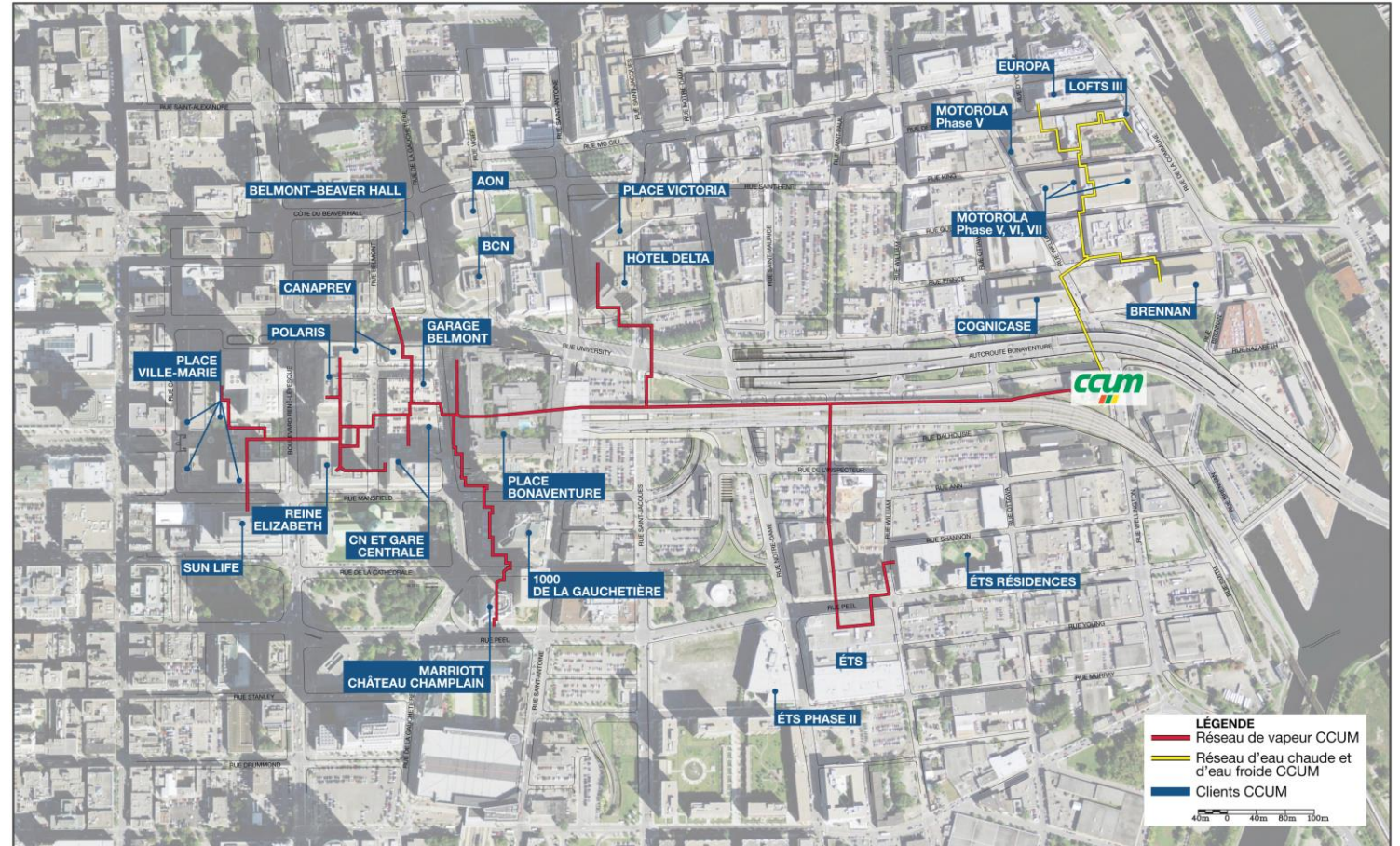
- Intégrés dans un campus (universitaire, hospitalier, administratif, etc.) relevant d'un gestionnaire unique.
- Des bâtiments individuels dans un même périmètre et achetant des quantités de chaleur ou de froid fournies par l'opérateur du district énergétique, et ce, pour de longues périodes.
- Dans ces deux cas, les bâtiments raccordés font l'économie d'équipements de chauffage ou de climatisation et du personnel requis pour leur entretien.





Le réseau de CCUM dans le centre-ville de Montréal

Le *réseau de CCUM*, une filiale à part entière d'Énergir, couvre les grands immeubles du centre-ville de Montréal



Source : [Experts en réseaux urbains d'énergie \(energirccu.com\)](http://experts.en.energirccu.com)

Les « nouveaux » districts énergétiques



Les nouvelles générations de districts énergétiques permettent de réduire la taille, voire d'éliminer le recours à des centrales thermiques émettrices de GES.

Ils intègrent des fonctions de **stockage** et des **échanges thermiques bidirectionnels** entre les immeubles et le réseau.

DISTRICT ÉNERGÉTIQUE principes

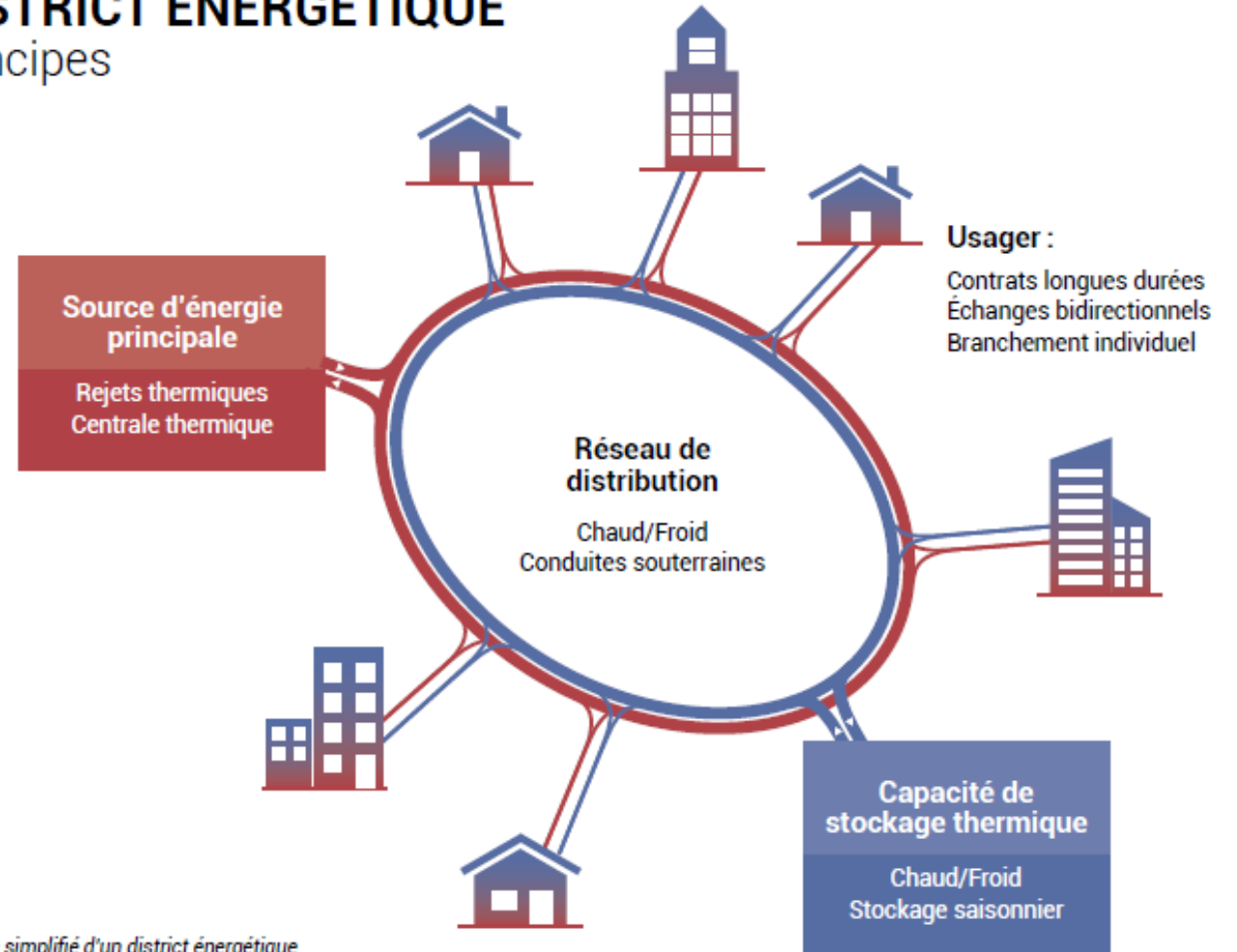


Schéma simplifié d'un district énergétique

Le potentiel structurant des districts énergétiques

De tels districts énergétiques de dernière génération devraient être une infrastructure à caractère stratégique pour :

- l'aménagement de **nouveaux écoquartiers** – comme le projet **Zibi** à Gatineau – ou le réaménagement de **quartiers existants** dans les villes ;
- l'aménagement ou le réaménagement de nouvelles générations **d'espaces et de parcs industriels** ;
- le développement de **boucles énergétiques et de circuits économiques courts sobres en carbone** intégrés dans les villes et les régions du Québec.



Une approche décentralisée des stratégies énergétiques

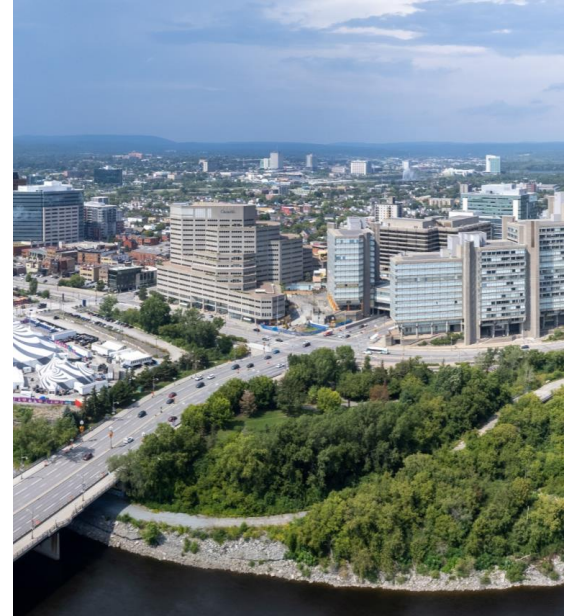
Les districts énergétiques couvrent un territoire limité et sont basés sur des **échanges énergétiques à faible rayon d'action** ($\pm 2-3$ km)

Leur **architecture** et leur **géométrie** sont complémentaires à celles du réseau électrique qui couvre l'ensemble du territoire québécois.

L'électricité carboneutre fournie par Hydro-Québec peut alimenter ces districts, surtout s'ils disposent de capacités de stockage et de systèmes bidirectionnels d'échange thermique.

Ces districts doivent miser sur la **récupération des rejets thermiques disponibles**, ainsi que sur un **recours intensif aux thermopompes**.

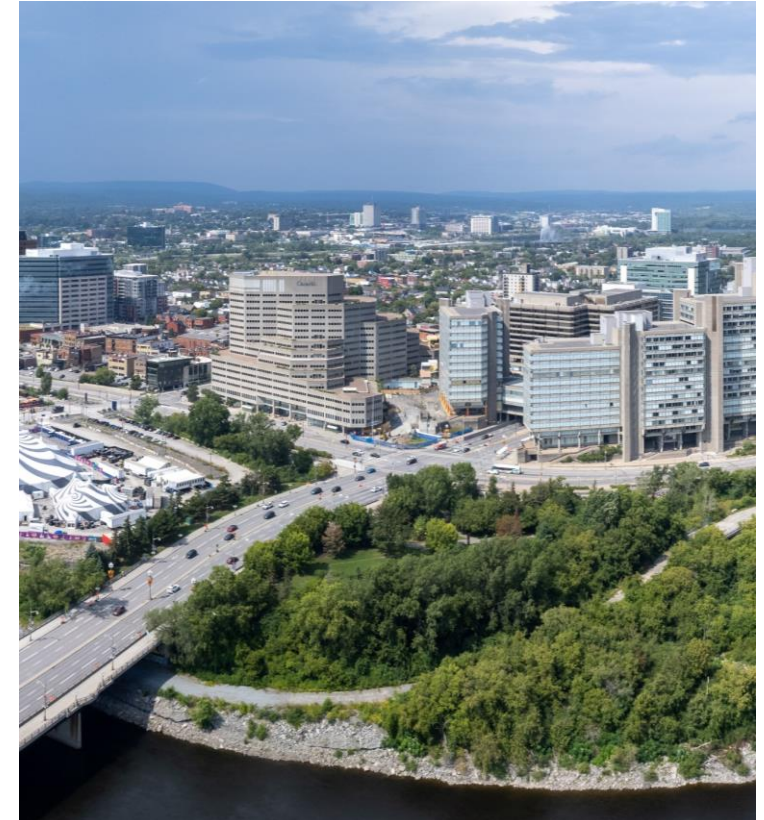
De tels districts sont nécessaires pour le développement d'écoquartiers et d'espaces industriels de nouvelle génération dans les villes du Québec.



Une approche décentralisée des stratégies énergétiques

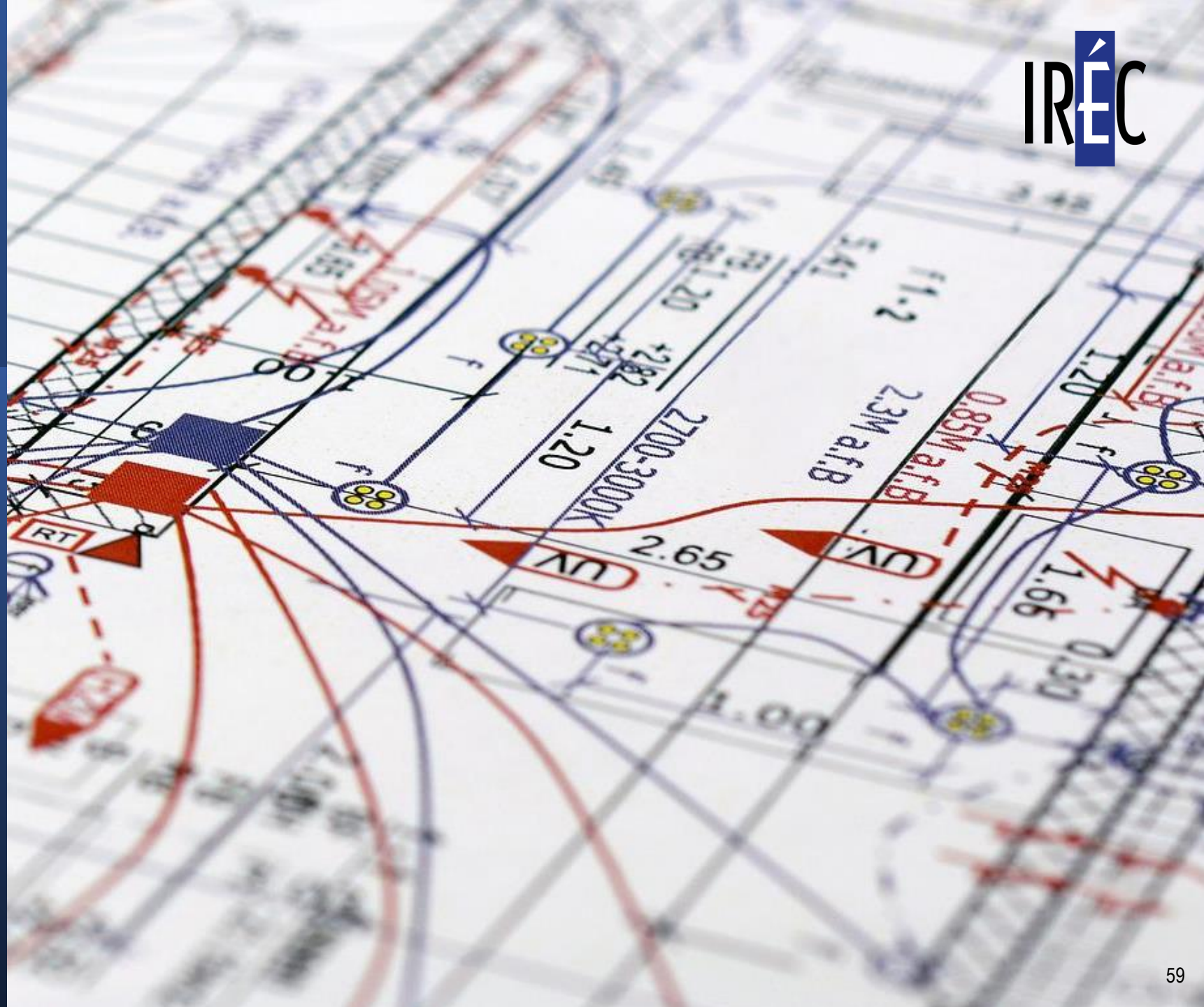
À l'échelle du Québec, une **stratégie thermique intégrée** devrait viser simultanément le développement :

- de systèmes de stockage thermique saisonnier de grande capacité ;
- de systèmes énergétiques intégrant la technologie de la géothermie minière là où elle est applicable ;
- de systèmes de récupération de rejets thermiques associés aux installations industrielles ou aux grands équipements urbains ;
- de districts énergétiques de nouvelle génération.



Les trois principales échelles d'une stratégie thermique

Troisième partie



Les stratégies thermiques dans les climats tempérés

Le cas du Québec, et celui de l'Europe



Des stratégies thermiques au Québec

Le climat québécois tempéré pourrait profiter de **systemes de stockage thermique saisonnier de grande capacité** dans toutes les régions du Québec comme outil de gestion des pointes hivernales. Cela pourra ainsi retarder le besoin d'aménager de nouvelles centrales hydroélectriques.

Le potentiel de la **géothermie minière** au Québec

- Une nouvelle phase dans le développement du potentiel minier au Québec
- Un outil pour prolonger la vitalité économique de collectivités
- Un outil permettant de développer une nouvelle génération d'espaces industriels
- Abitibi-Témiscamingue, Côte Nord, Région de l'amiante, Gaspésie, etc.

Le stockage thermique saisonnier et le déploiement d'une **filière serricole québécoise** de grande envergure

Répartie dans la plupart des régions urbaines et rurales du Québec

Une stratégie de « circuits courts » et d'économie circulaire qui réduit les coûts de transport et les émissions de GES

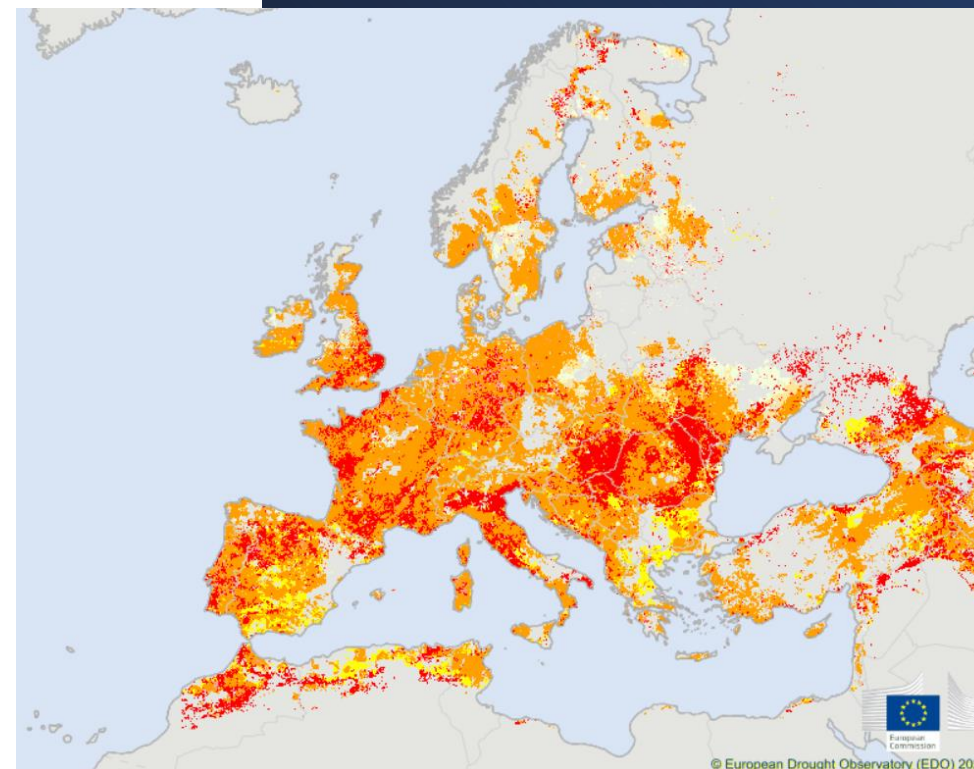


Le cas de l'Europe en 2022 et 2023

Des étés de canicules et de sécheresses ...
d'importants surplus thermiques non récupérés
des déficits de précipitations (comme ailleurs dans le monde)
... suivi d'une crise d'approvisionnement en hydrocarbures
par chance, un hiver 2022-2023 relativement doux mais un
hiver sec avec, potentiellement, des conséquences sur les
approvisionnements l'été prochain.

Une stratégie thermique spécifique pour les climats tempérés?

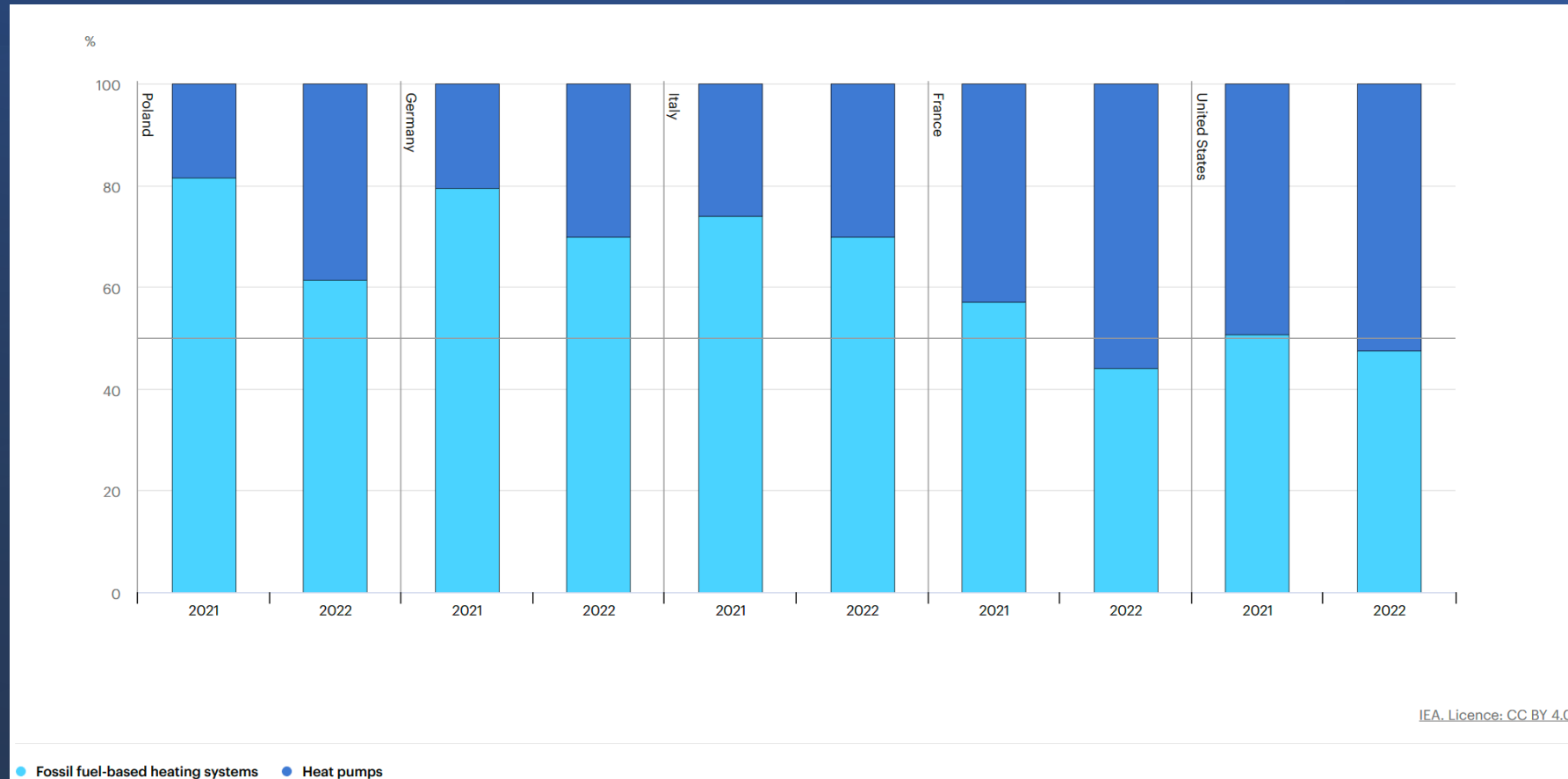
Seulement si des capacités suffisantes de stockage saisonnier sont rendues disponibles et gérées de manière stratégique en complémentarité avec les réseaux énergétiques actuels.



Carte des alertes de sécheresse en juillet 2022

Source : *European Drought Observatory*

Les thermopompes : une réponse à la crise énergétique en Europe ?



Source : Agence internationale de l'énergie - https://www.iea.org/commentaries/global-heat-pump-sales-continue-double-digit-growth?utm_source=SendGrid&utm_medium=Email&utm_campaign=IEA+newsletters



La stratégie thermique : une approche de politiques publiques

*Une hiérarchie d'investissements
publics et privés*



Une stratégie d'investissements :

Qui vise principalement à **réduire ou à éliminer la chaleur à usage unique**

À plusieurs échelles (bâtiments, districts énergétiques, collectivités locales et régionales, etc.)

Qui réduit la pression sur la **pointe hivernale d'Hydro-Québec**

Répartie **dans l'ensemble des régions** plutôt que concentrée dans les régions éloignées

Moins dépendante de coûteux investissements dans des **réseaux de transport d'énergie**

Qui facilite les **partenariats** entre acteurs privés et publics

Largement **soutenue dans le temps** plutôt que sous la forme de seuls mégaprojets « coup-de-poing ».

Une stratégie d'investissements qui peut être totalement carboneutre et éliminer des quantités importantes d'émissions actuelles de GES.

Une stratégie d'investissements thermiques au Québec



Trois échelles pour une stratégie thermique québécoise

L'échelle « micro », qui porte sur les interventions à l'échelle de **bâtiments** individuels ou **d'équipements** particuliers.

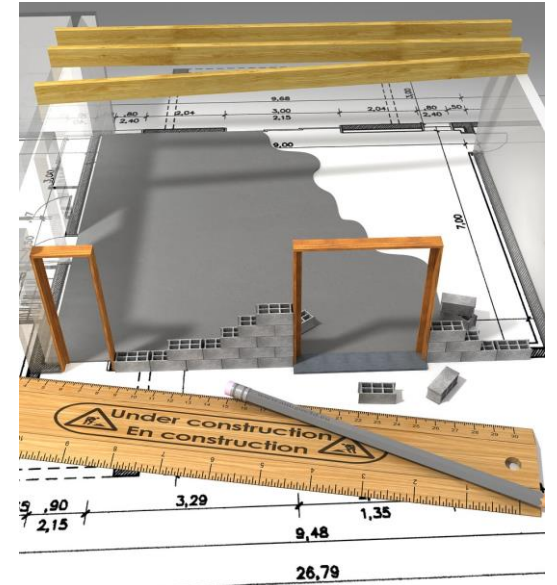
L'échelle « méso », qui porte sur les interventions à l'échelle de **quartiers**, de **collectivités** locales ou de **régions**.

L'échelle « macro », qui porte sur l'encadrement des **politiques** publiques et sur les **stratégies** fiscales ou financières permettant de **mobiliser les ressources**.

L'échelle « micro » : les bâtiments d'abord

Des interventions à l'échelle de bâtiments - incluant des serres - et d'équipements collectifs.

- **Convertir des stationnements souterrains superflus** de bâtiments institutionnels en **réservoirs permettant de stocker de la chaleur excédentaire estivale**, incluant possiblement celle produite par leurs systèmes de climatisation.
- Créer et gérer des boucles énergétiques **dans l'espace et dans le temps** (été vs hiver).
- Généraliser, en adaptant les programmes subventionnaires et les politiques fiscales, **le remplacement de systèmes de chauffage électrique résistifs par des thermopompes associées à des accumulateurs thermiques**. Un programme comparable à ce que le Québec a fait pour convertir à l'électricité les systèmes de chauffage résidentiels après la Baie James et Churchill Falls.





L'échelle « méso » : le stockage thermique et les districts énergétiques

Un programme d'investissements publics et privés visant les **trois piliers de la stratégie thermique**:

- Le **stockage thermique saisonnier et la géothermie minière** ;
- La **récupération des rejets thermiques** ;
- La mise en place de **districts énergétiques**.

Une gestion énergétique intégrée des bâtiments branchés sur de tels réseaux permet de concevoir et mettre en place des **districts carboneutres ou à zéro émission de GES**.

- De tels bâtiments peuvent économiser dans l'installation de systèmes de chauffage et de climatisation en échange d'un contrat d'approvisionnement de chaleur / de froid sur une longue période (20 ans ou davantage);
- Une stratégie complémentaire à celle du **Défi Énergie en Immobilier** de BOMA Québec et de ses partenaires.

Tout projet d'écoquartier au Québec devrait obligatoirement incorporer un tel district énergétique zéro-émission.

Partenaires : municipalités, Hydro-Québec, Énergir, promoteurs immobiliers, société civile, etc.



L'échelle « macro » : la chaleur et les politiques énergétiques

Les politiques économiques, énergétiques et climatiques du Québec et du Canada devraient comporter des **stratégies thermiques carboneutres ou zéro émission**.

Les **politiques fiscales**, les **programmes subventionnaires** et les **stratégies financières** du Québec et du Canada devraient appuyer la mise en œuvre d'une telle stratégie thermique.

Les **programmes d'investissements** des gouvernements, des municipalités et des acteurs énergétiques (Hydro-Québec et Énergir, notamment) devraient inclure des volets portant sur la stratégie thermique.

Modifier **les codes du bâtiment**, les **méthodes d'évaluation foncière** et **l'émission de permis de construction** pour faciliter l'implantation de mesures d'efficacité énergétique et de systèmes de stockage thermique.

La création d'une **société parapublique ou péripublique** québécoise, ou encore de **sociétés paramunicipales**, pourrait assurer la mise en œuvre d'une stratégie thermique intégrée, tant à l'échelle nationale que locale ou régionale.



Un incitatif financier et fiscal pour réduire le gaspillage thermique et accroître la productivité énergétique

Les **principaux émetteurs de rejets thermiques** du Québec :

- Devraient **verser une contribution** (fiscale ou financière) dont le montant est établi sur la base de la quantité de leurs rejets.
- Toutefois, s'ils cèdent ou vendent cette chaleur à des partenaires qui l'utilisent à des fins économiques, ils sont **exemptés de cette contribution** pour la partie ainsi cédée ou vendue. En outre, les émetteurs peuvent conserver, le cas échéant, le **produit d'une telle vente, ce qui suppose que la chaleur a une valeur économique qui peut s'exprimer selon les mécanismes du marché.**
- **Hydro-Québec** et les distributeurs de gaz naturel comme **Énergir** seraient des partenaires de ce programme selon des modalités à définir.

Ces **contributions sont versées dans un fonds** qui sert à financer des investissements publics ou privés visant le stockage thermique et la récupération des rejets thermiques. Elles doivent donc demeurer neutres sur le plan fiscal.

Les investissements dans des échangeurs de chaleur, dans des thermopompes, dans des conduites de distribution de chaleur ou de froid, dans des équipements de stockage thermique saisonnier, etc., sont admissibles à un financement par ce fonds.

Les municipalités ou leurs partenaires sont admissibles à une contribution de ce fonds pour la récupération des rejets thermiques de leurs installations, en particulier les usines de traitement des eaux usées et les incinérateurs.