

Webinaire du Réseau Énergie et Bâtiments



4G, 5G

Quels réseaux thermiques pour le Québec ?

2025-05-21

**POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL**



4G, 5G

Quels réseaux thermiques pour le Québec ?

POLYTECHNIQUE
MONTREAL



Mathilde Gallant

Étudiante
à la maîtrise



Manon Beaufort

Étudiante au
doctorat



Bruno Marcotte

Professionnel
de recherche



Michaël Kummert

Professeur

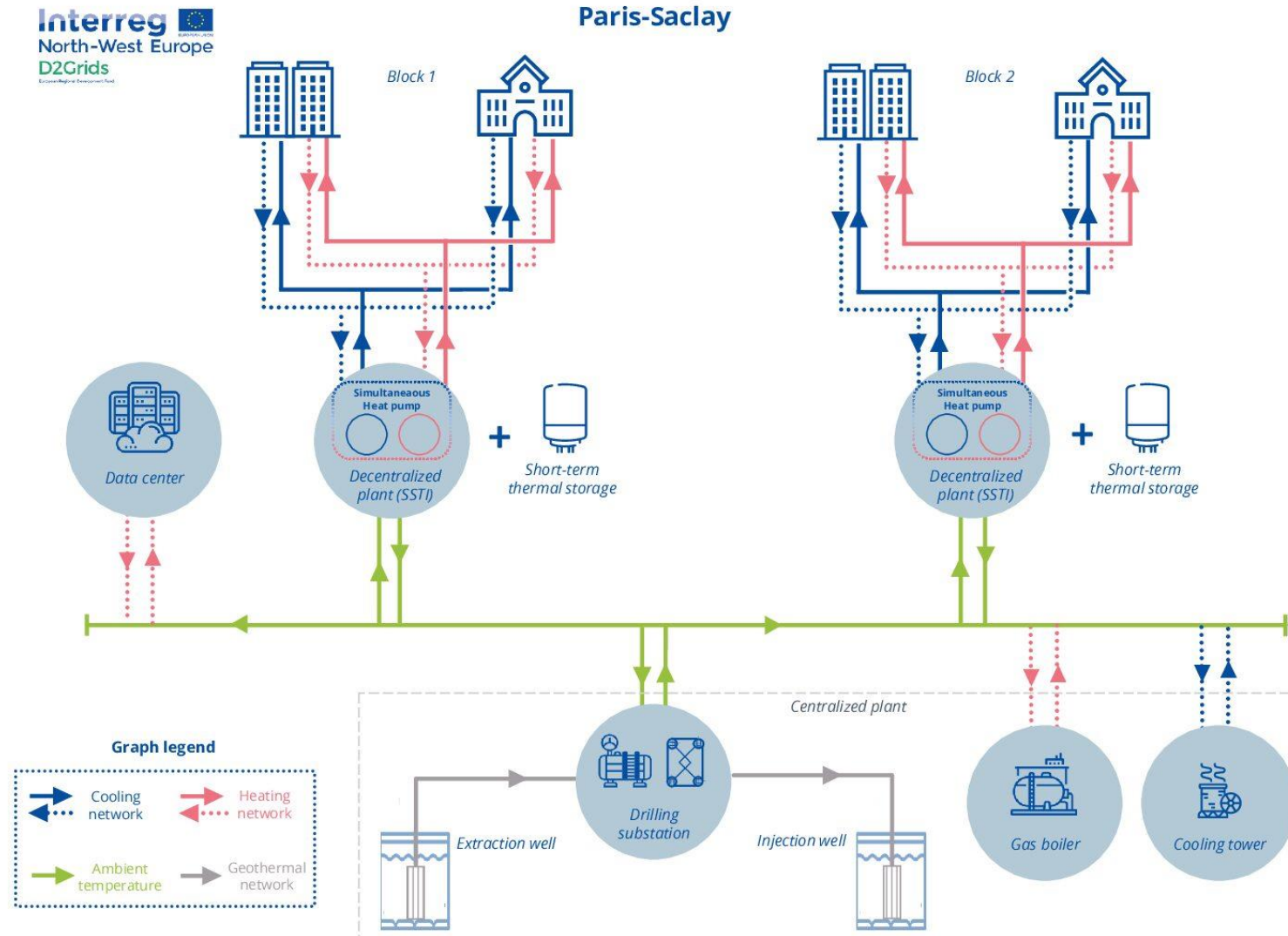
Ce que ce webinaire ne sera pas ...

THE GENERATION BATTLE

4th versus 5th generation of District Heating



Ce que ce sera plutôt ...



Plan

- Introduction : l'évolution vers les réseaux 4G et 5G
- Un peu plus loin dans les distinctions, et proposition de classification
- Un coup d'œil sur les coûts
- Étude de cas
 - Les réseaux de chaleur comme solution de décarbonation dans le contexte québécois
- Conclusions

Évolution des réseaux de chaleur

Des centrales au charbon aux pompes à chaleur (thermopompes)

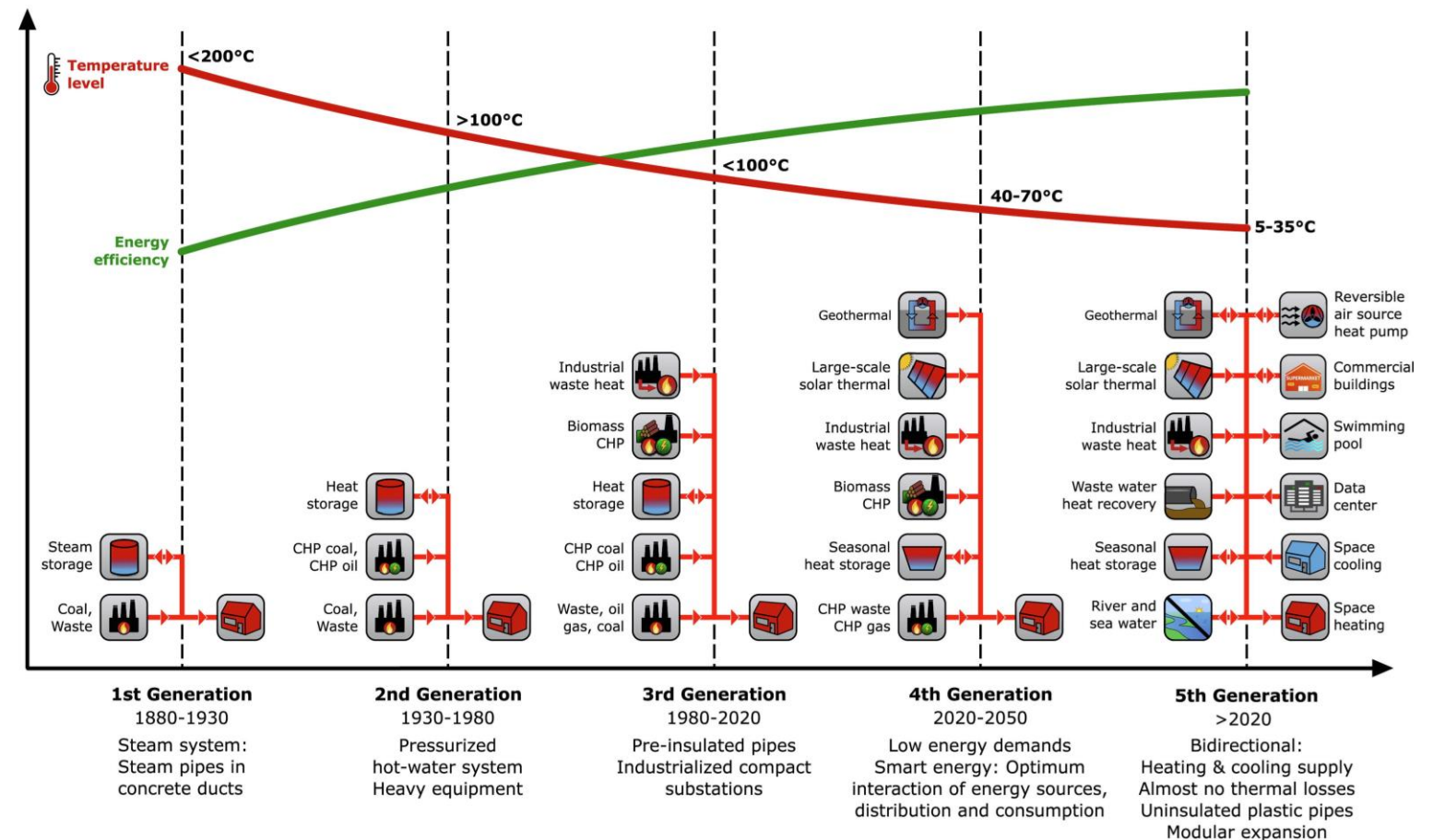
La vue « classique » des générations de réseaux thermiques

L'évolution tend à

- Favoriser l'intégration d'énergie renouvelable
- Réduire les pertes thermiques des réseaux
- Réduire l'empreinte carbone du chauffage

Mais...

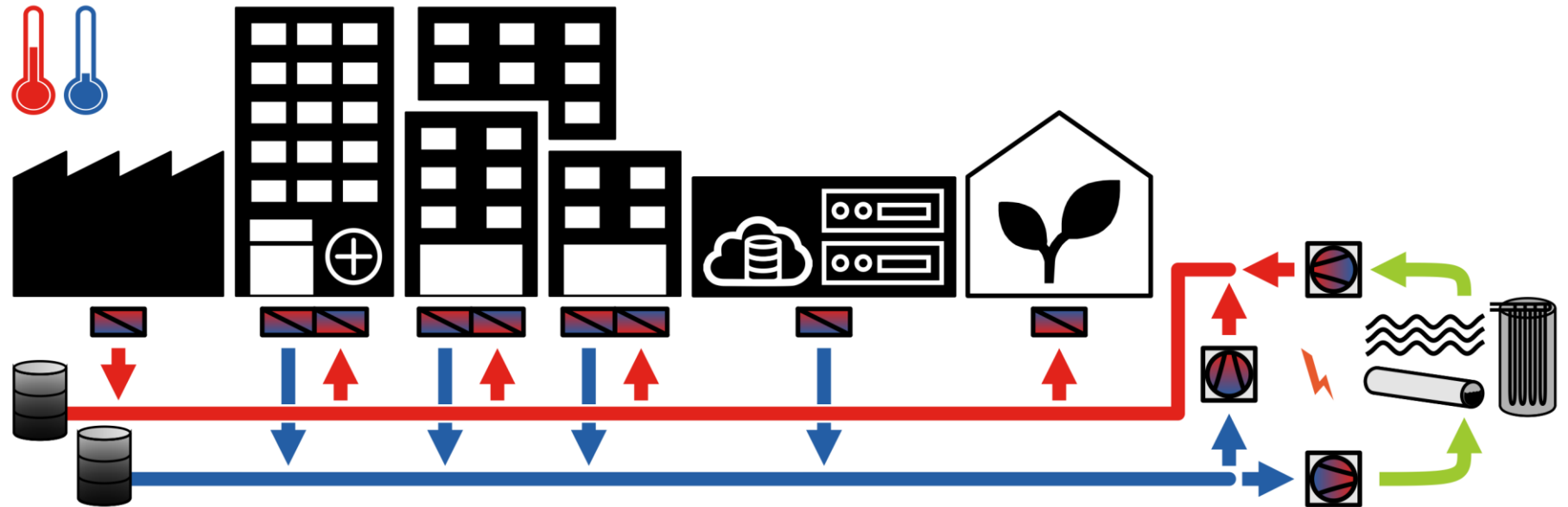
- Une génération ultérieure n'est pas forcément meilleure en termes de décarbonation



4^e génération

Eau chaude, $T \approx 45\text{ °C}$ à 70 °C

Eau refroidie, $T \approx 5\text{ °C}$

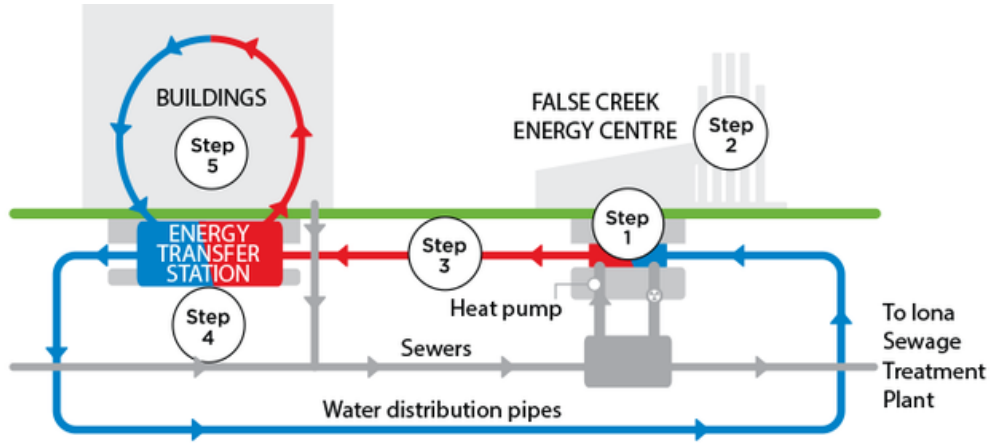


Échange de chaleur bidirectionnel, récupération

Électrification grâce aux pompes à chaleur (centralisées)

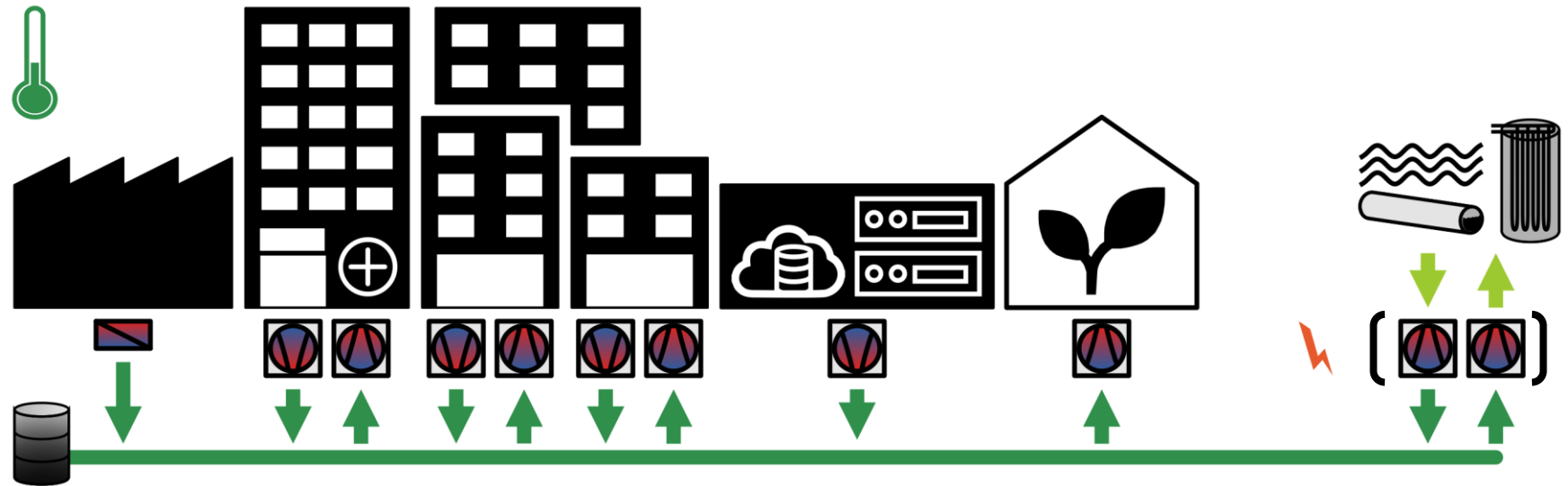
Intégration des énergies renouvelables, gestion du stockage pour réseau électrique

4^e génération



5^e génération

Eau (glycol) mitigé(e), $T \approx 10\text{ °C}$ à 30 °C



Un seul réseau, partage de chaleur bidirectionnel

Électrification avec pompes à chaleur (décentralisées, dans les bâtiments)

Intégration des énergies renouvelables, gestion du stockage pour réseau électrique

5^e génération



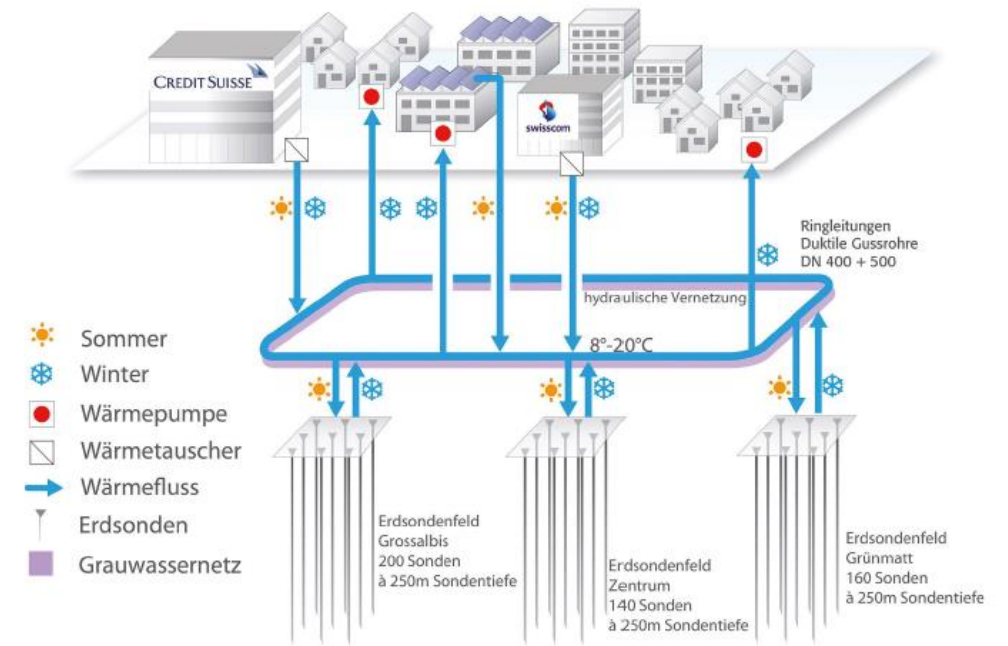
Exemples au Québec :

Zibi (partie Québécoise)

<https://zibi.ca/fr/zcu/>

Royalmount

https://ashraemontreal.org/ashrae/data/files/montrealer_mai_2025/conference_principale/pres_ashrae_royalmount.pdf



Proposition du programme « *District heating and cooling* » de l'Agence Internationale de l'Énergie

- Les 4 générations de réseaux thermiques pour le chauffage (DH, *District Heating*) se distinguent par la température et le fluide :
 - 1GDH : Vapeur
 - 2GDH : Eau liquide à $T > 100\text{ °C}$
 - 3GDH : Eau à $70\text{ °C} \leq T \leq 100\text{ °C}$
 - 4GDH : Fluide à $T \leq 70\text{ °C}$ (160 °F)
- Les réseaux de chauffage de 5^e génération 5GDH (terme pas recommandé) sont une sous-catégorie des réseaux de 4^e génération qui se distingue par le fait qu'ils servent de source de chaleur pour des technologies (pompes à chaleur) décentralisées.
- La classification du IEA-DHC ne prend pas en compte le fait que les réseaux thermiques fournissent aussi de la climatisation (DHC, *District Heating and Cooling*) ou pas.



Une classification plus compliquée qu'il n'y paraît

Les caractéristiques des réseaux de chaleur et de froid « 5GDHC »



Une boucle énergétique fermée

Un réseau thermique circulaire optimisant les échanges de chaleur et de froid entre les consommateurs finaux.



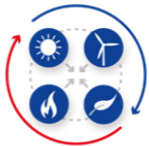
Valoriser l'énergie basse température

Les sources basse température disponibles correspondent avec la demande observée pour n'apporter que la quantité d'énergie nécessaire.



Un approvisionnement énergétique décentralisé et piloté par la demande

Ces réseaux produisent et font circuler de l'énergie qu'au moment et à l'endroit où c'est nécessaire.



Une approche intégrée des flux d'énergie

Sur un territoire donné (réseaux électriques, les transports, l'industrie, l'agriculture, etc.), cela maximise la fourniture énergétique et de son utilisation.



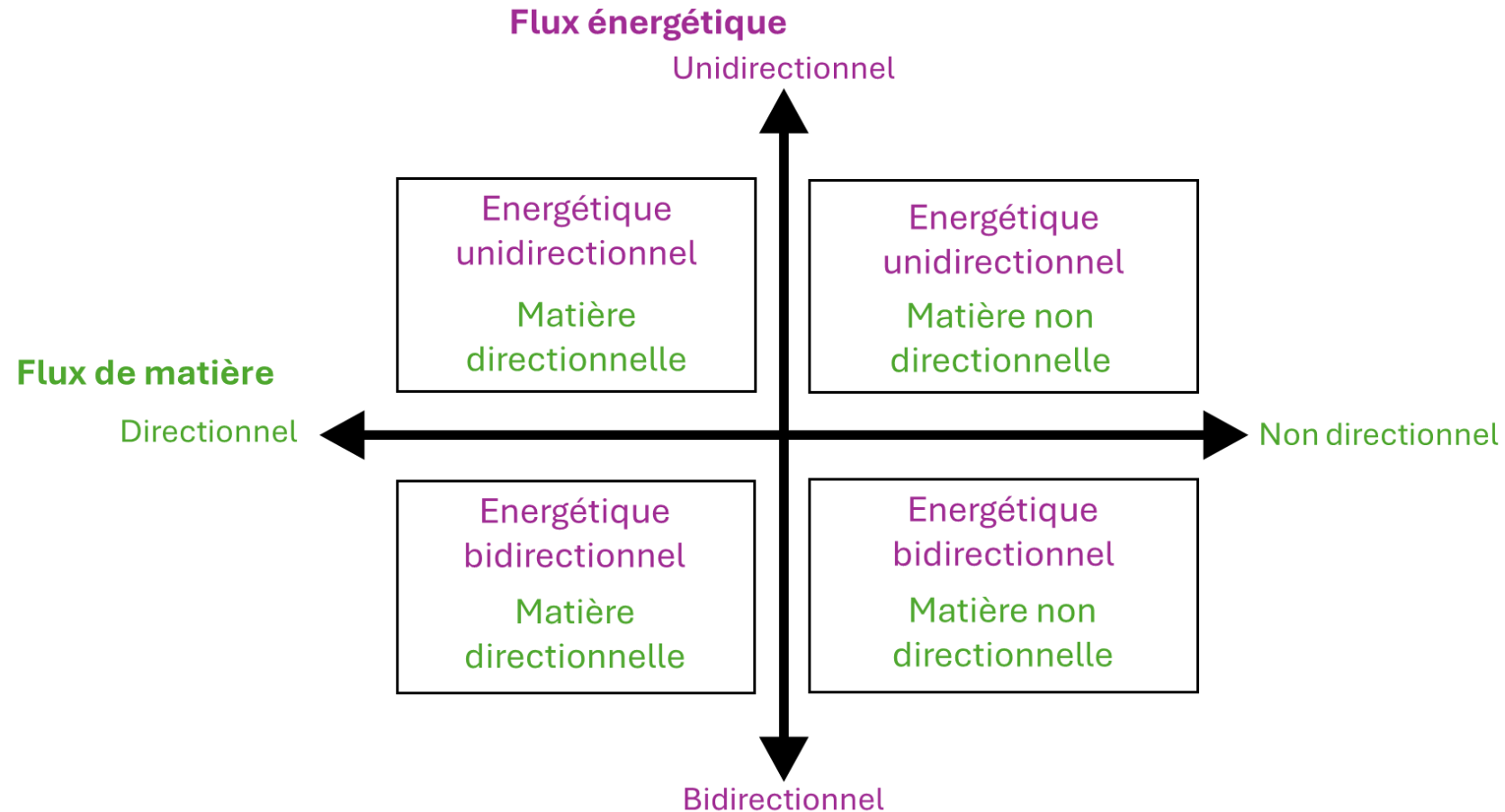
Priorité aux sources locales et durables

Eviter les gros investissements et les pertes d'énergie pendant le transport tout en stimulant l'économie locale.

Caractéristiques des 4^e et 5^e générations

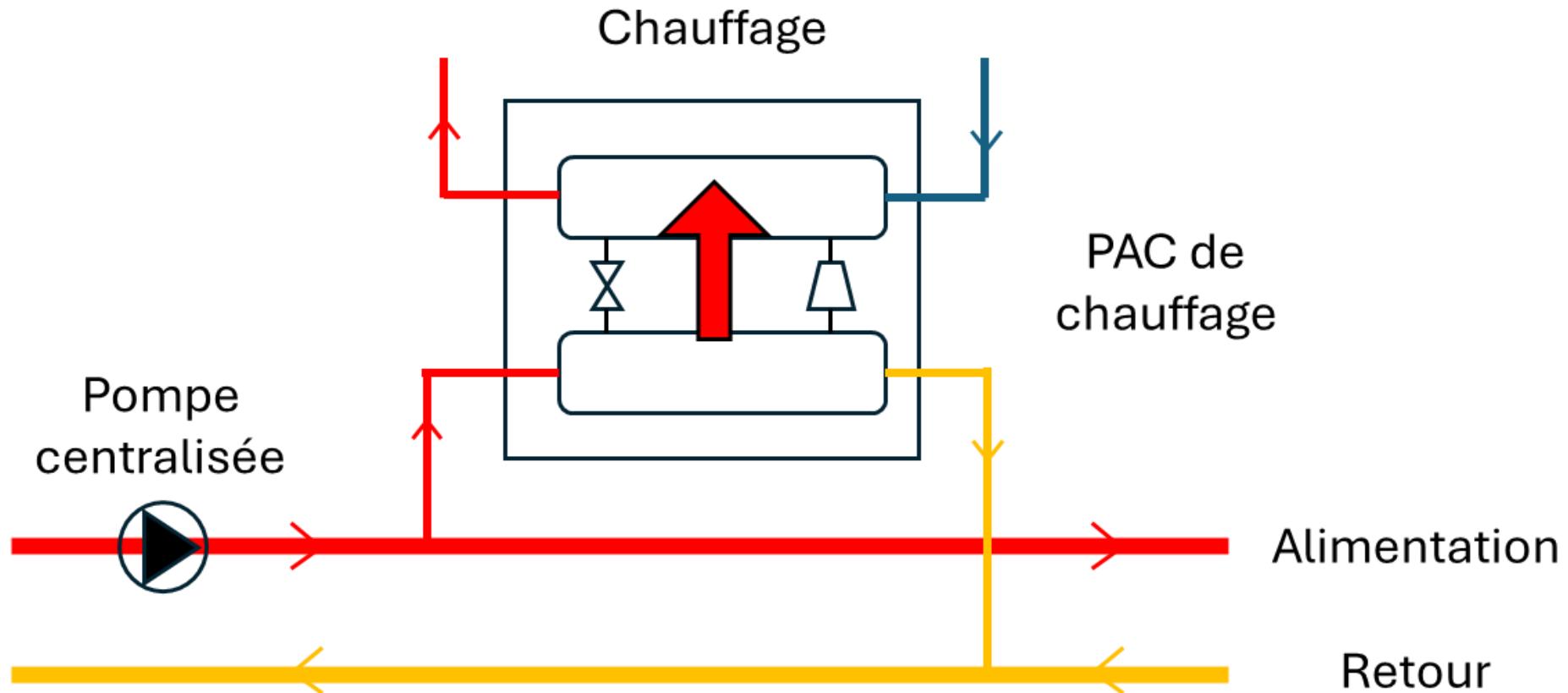
	4G	5G
Production de chaleur	Centralisée	Décentralisé
Température	Proche de la température utile pour consommateur (45-70 °C)	Température d'alimentation proche de l'ambient (sous les 30 °C)
Nombre de tuyaux	2 tuyaux (4 si réseau chaud et froid)	De 1 à 4 tuyaux (souvent 2)
Échelle spatiale	Moins de 5 km de rayon	Moins de 2 km de rayon
Sous-stations	▪ Échangeurs de chaleur ou micro-PAC pour eau chaude domestique ▪ Échangeur de chaleur pour chauffage ▪ Besoin d'un réseau de froid dédié pour climatisation	▪ Boost PAC pour eau-chaude domestique ▪ PAC réversible pour chauffage et climatisation ▪ Consommateur = prosumer (prend ET rejette chaleur au réseau)
Stockage	Pour la source, les bâtiments ou la boucle énergétique	Pour les sources ou les bâtiments
Opérations de contrôle	PAC centrale	PAC des sous-stations, et la gestion des flux

Options pour le sens des flux, et génération associée



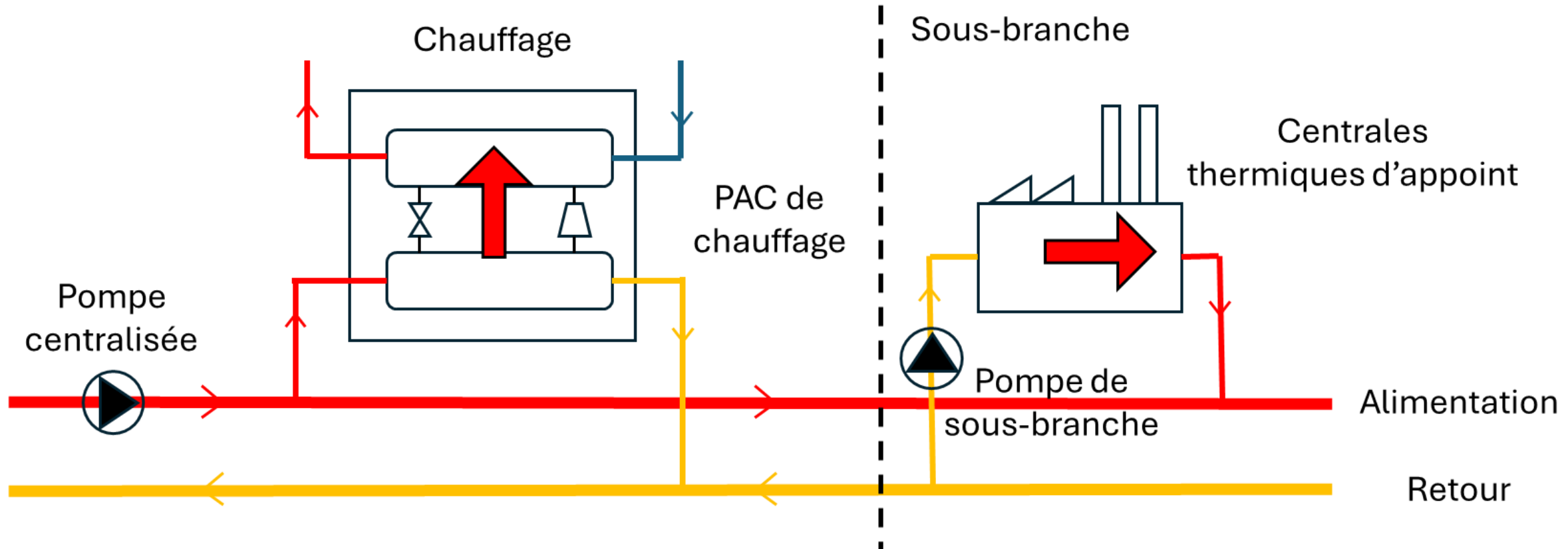
Flux de chaleur unidirectionnel et flux de matière directionnel

- Réseau classique de 4G et moins



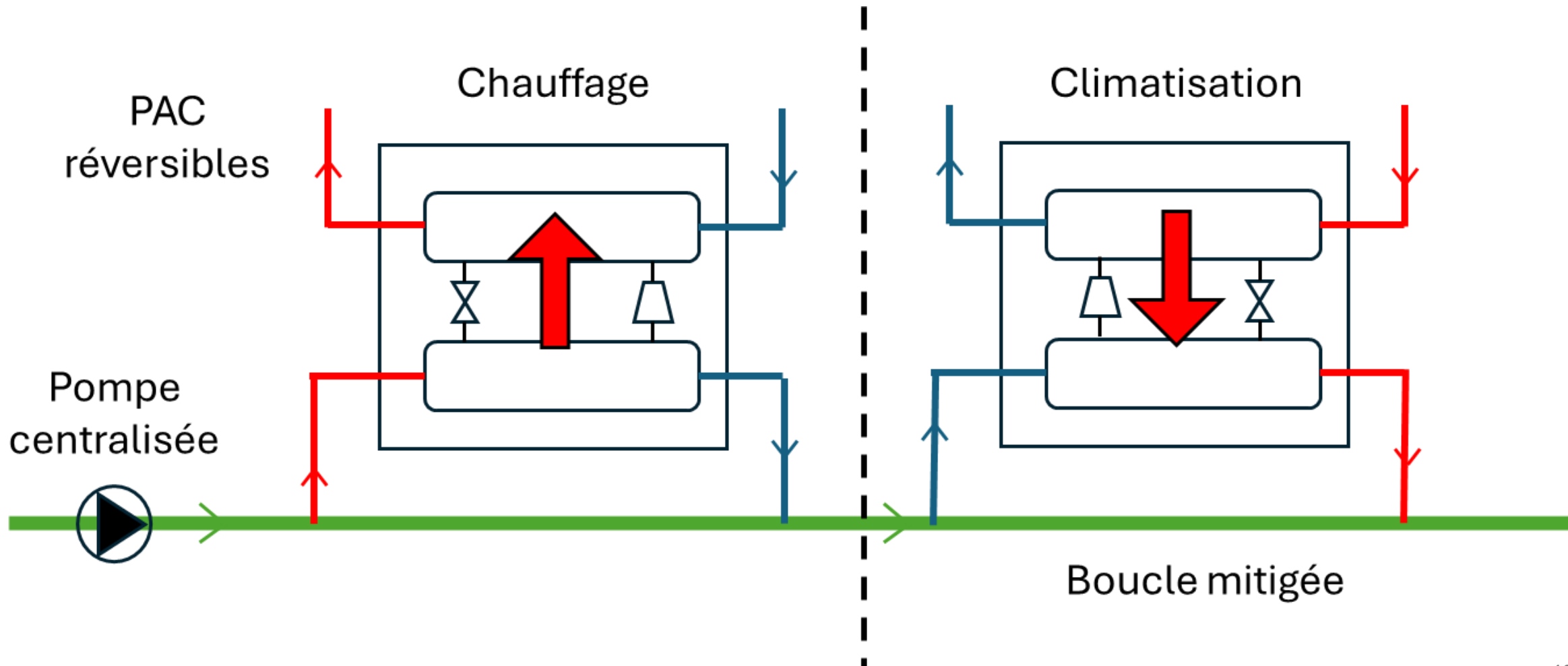
Flux de chaleur unidirectionnel et flux de matière non directionnel

- Réseau 4G et moins avec sous-branches



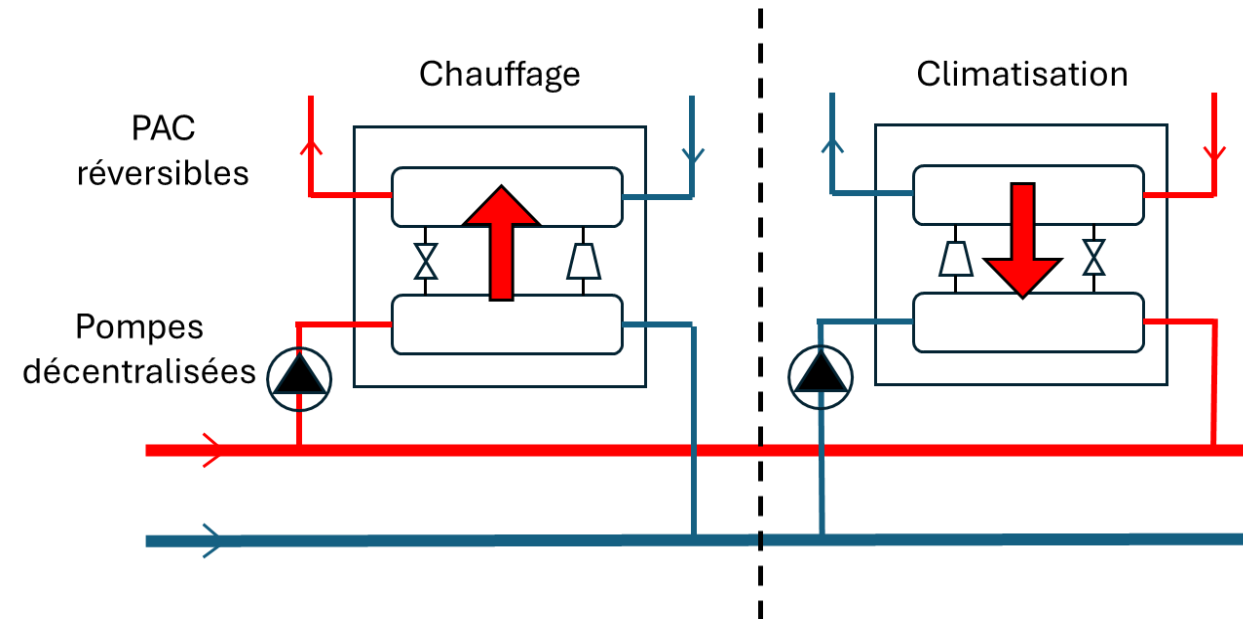
Flux de chaleur bidirectionnel et flux de matière directionnel

- Réseau 5G avec 1 tuyau



Flux de chaleur bidirectionnel et flux de matière non directionnel

- Réseau 5G avec 2 tuyaux



- Deux aspects clés : la décentralisation et le « pilotage par la demande »

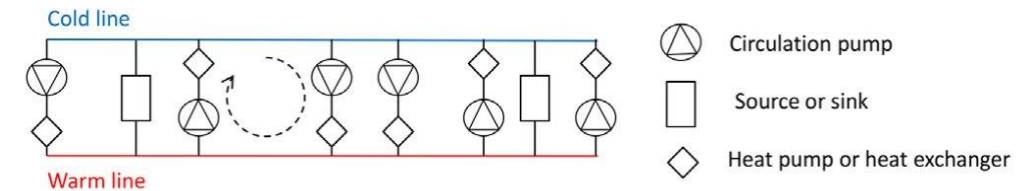
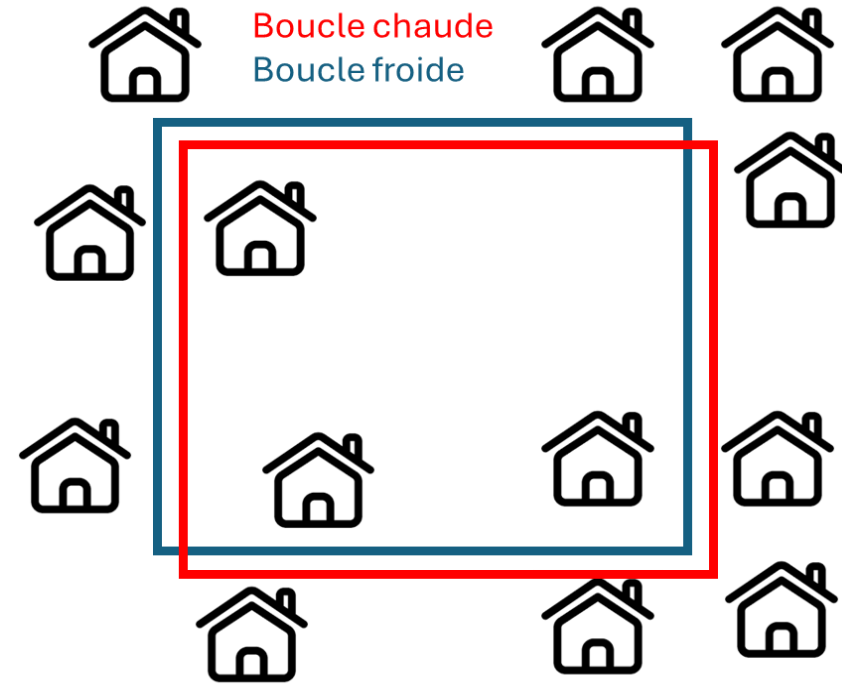
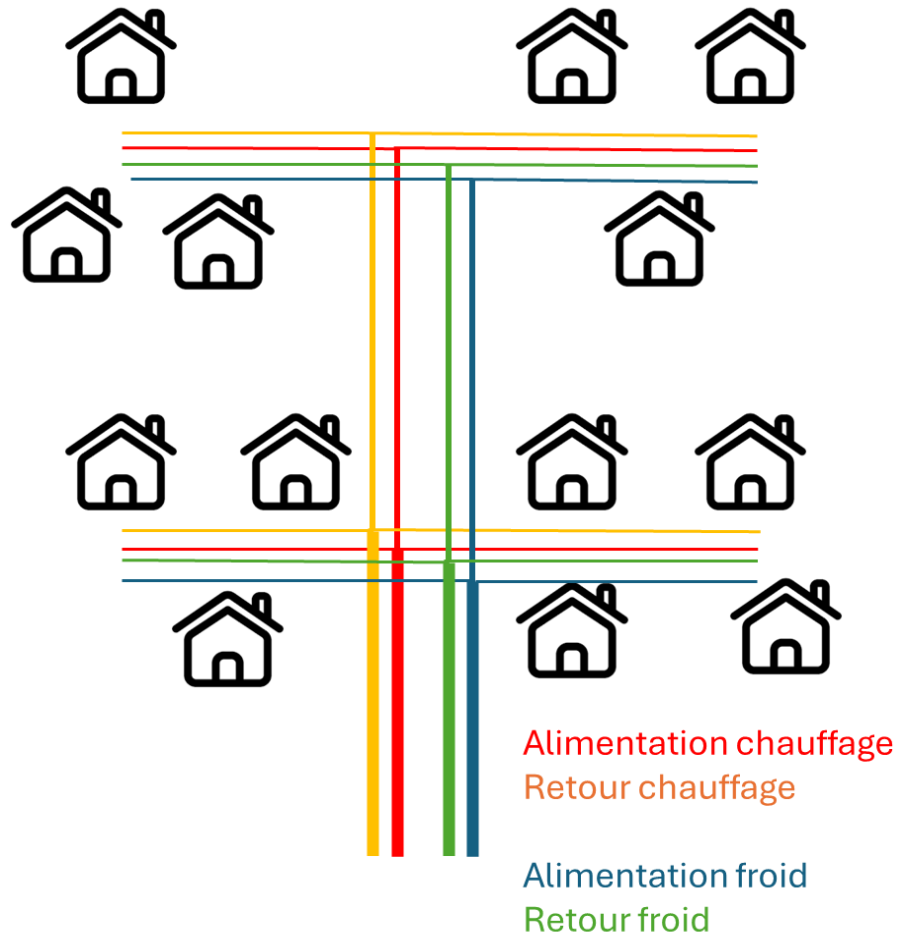


Fig. 1. Simplified scheme of a low-temperature network with various circulation pumps and sources/sinks. Circulation pumps draw water either from the warm line for heating or the cold line for cooling. If heating and cooling demand balance, hydraulic sub-cycles form, indicated by the circular arrow.

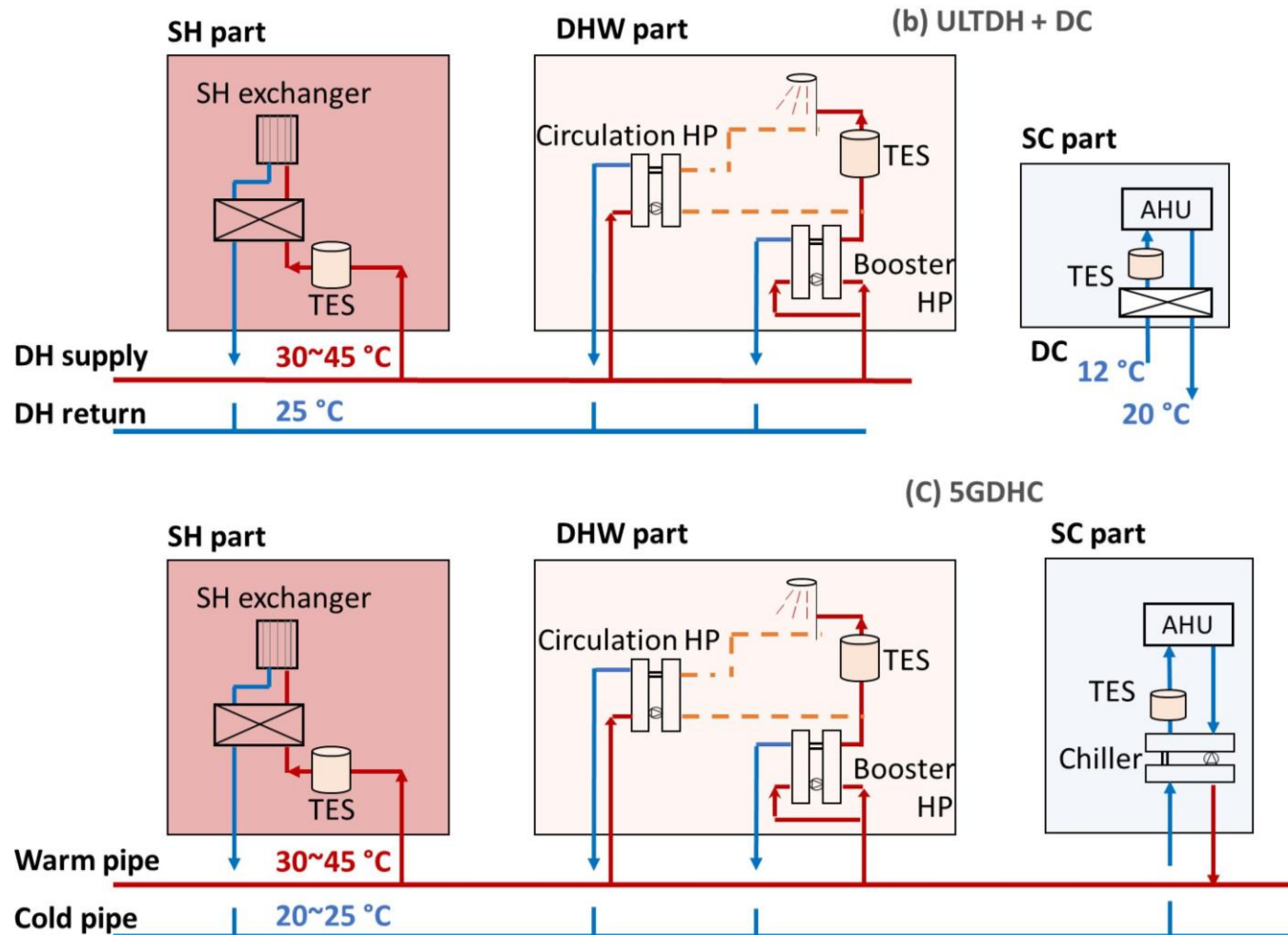
- Chaque bâtiment (ou groupe) pompe le débit qui lui est nécessaire

Topologies typiques de 4G et 5G



- Réseau 4G arborescent, 4 tuyaux
- Réseau 5G en anneau, 2 tuyaux

Cas difficiles à classer



De nombreuses appellations :

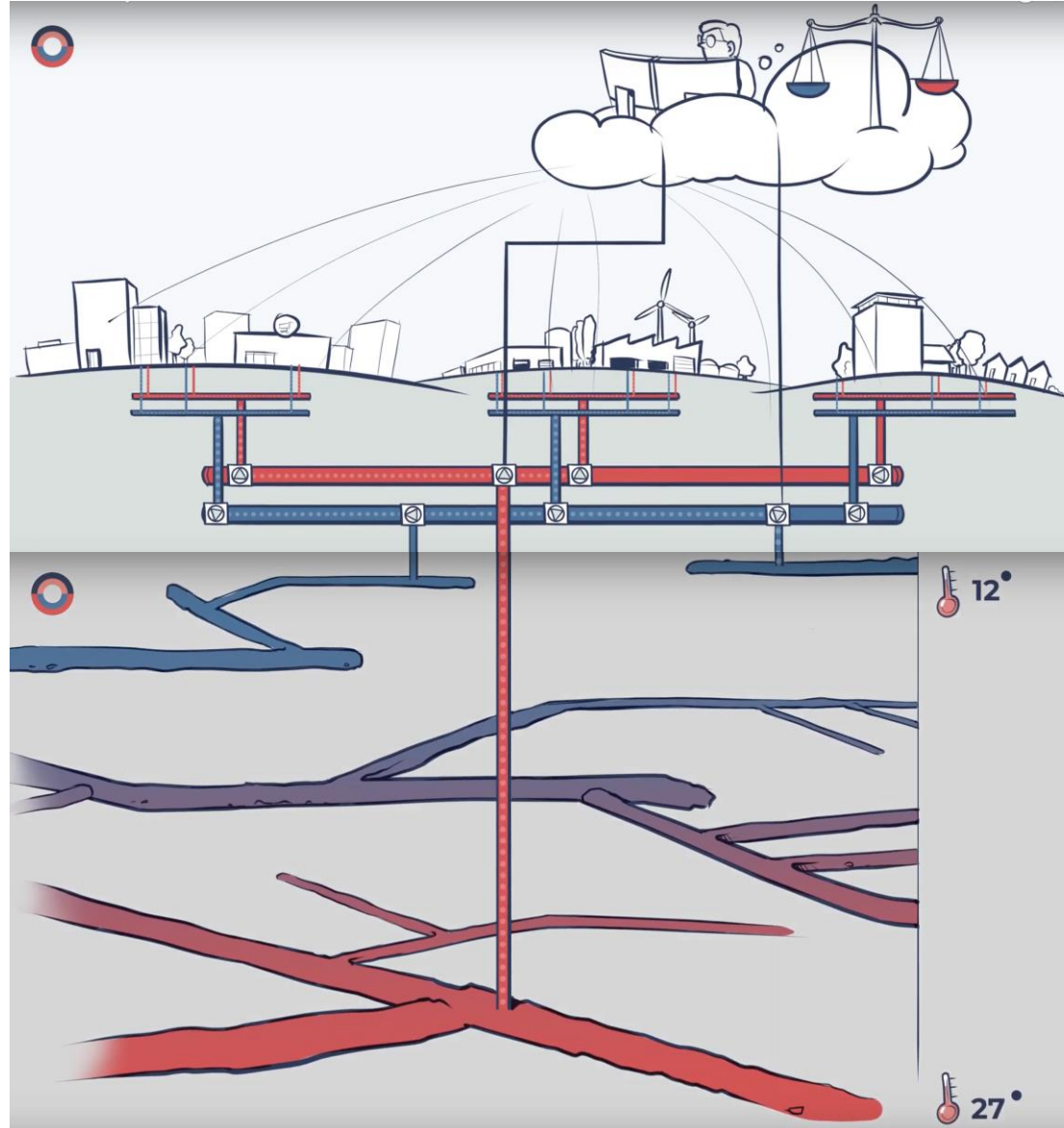
- Réseau à température
 - ambiante
 - ultra basse
 - basse
 - moyenne
- Réseau froid de chauffage
- Et autres...

Une meilleure façon de classer les réseaux

- Plutôt que d'opposer 4G et 5G, il est plus utile de définir un réseau selon :
 - Services de chaud et/ou froid
 - Production centralisée ou distribuée
 - Débits unidirectionnels ou bidirectionnels (pompage (dé)centralisé
 - Revalorisation de chaleur ? Centralisée ou *prosumers*
 - Températures d'opération
 - Nombre de tuyaux et topologie

Un coup d'œil sur les coûts : Étude de cas de la ville de Heerlen (Pays-Bas)

Le cas de Heerlen (Pays-Bas)



Mijnwater BV, réal. 2023. *Animatie
Mijnwater.*
<https://www.youtube.com/watch?v=UVrMAyaVYBE>

Le cas de Heerlen (Pays-Bas) : Un des premiers réseaux 5G

Passage d'un réseau 4G à 5G en 2013

Permet l'échange de chaud et de froid entre consommateurs simultanément

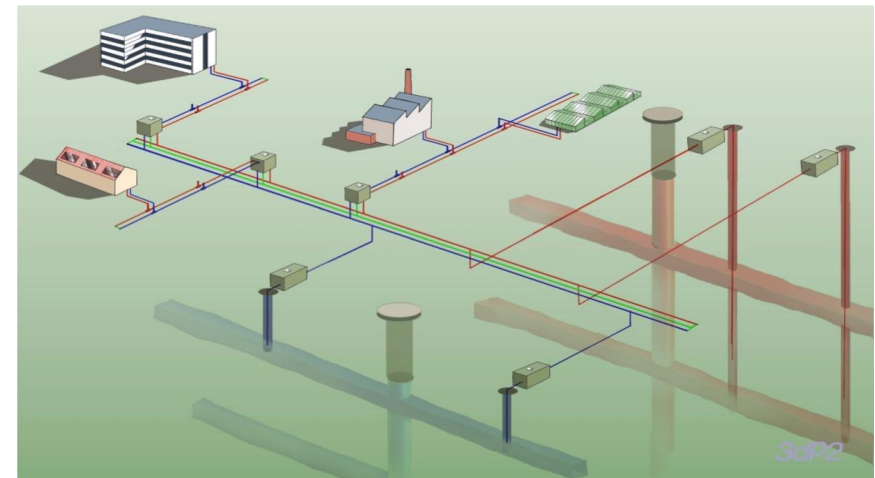
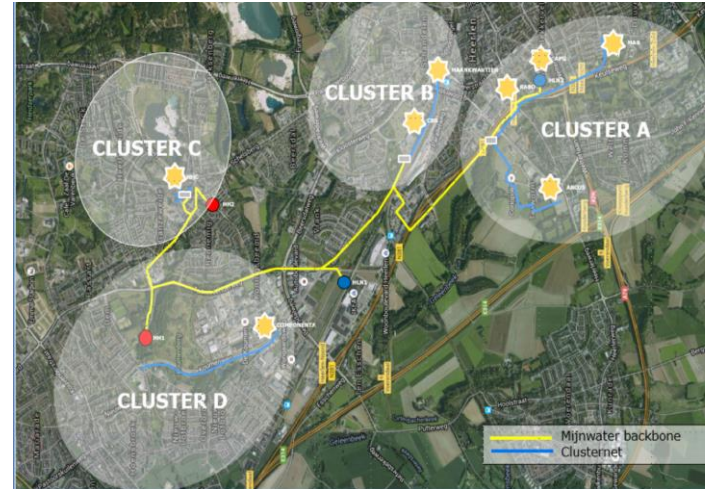
Utilisation de mines désaffectées et inondées comme stockage thermique

Dessert 250 000 m² de superficie de plancher

En 2018, le réseau a fourni:

- 5 139 MWh de chaud (pointe de 1,7 MW)
- 5 243 MWh de froid

... et consommé 2 283 MWh d'électricité



Nichol Brummer. 2020. « Mijwater Heerlen ». *Construction21.Org*. Consulté 16 mai 2025 (<https://www.construction21.org/algerie/infrastructure/i/mijwater-heerlen.html>).

Le cas de Heerlen (Pays-Bas) : Comparaison avec un réseau thermique « conventionnel » au niveau du CAPEX

- **Réseaux thermiques conventionnels (4G, 3G, ...):**
 - Coûts initiaux plus élevés:
Salle mécanique centralisée (chauffage, pompage, etc.) et installation du réseau primaire
 - Coûts de connexion de nouveaux clients moins importants:
échangeur de chaleur
- **Réseaux thermiques 5G:**
 - Coûts initiaux moins élevés:
Aucune salle mécanique centralisée
 - Coûts de connexion de nouveaux clients plus important: utilisation de PAC, pompes et autres équipements

Table 3: Capex categories for 5GDHC and Conventional DH projects of similar size (c. 400 TJ).

Source: Asper Investment Management NL market research

Capex Item	5th Generation DH	Conventional DH
Customer Installations	75%	5%
Primary Network	5%	10%
Secondary Network	15%	20%
H/C Sources	5%	65%
Upfront	25%	75%
Variable	75%	25%

Ben-Hamo, Adam, et Olivier Delpon de Vaux. 2020. CASE STUDY OF THE HEERLEN EXPERIENCE - BASELINE REPORT ON OPPORTUNITIES AND BARRIERS.

Le cas de Heerlen (Pays-Bas) : Comparaison avec un réseau thermique « conventionnel » au niveau du CAPEX

Par la nature décentralisée des réseaux 5G:

- Distribution des dépenses en CAPEX plus étalées dans le temps pour les réseaux 5G vs les réseaux conventionnels en raison des coûts de connexion plus élevés
- Le réseau thermique 5G est économiquement viable avec un plus petit volume de connexion initiale vs les réseaux conventionnels
- Les risques financiers initiaux sont moins élevés pour les réseaux 5G: dépenses engagées seulement lors de la connexion de nouveaux consommateurs

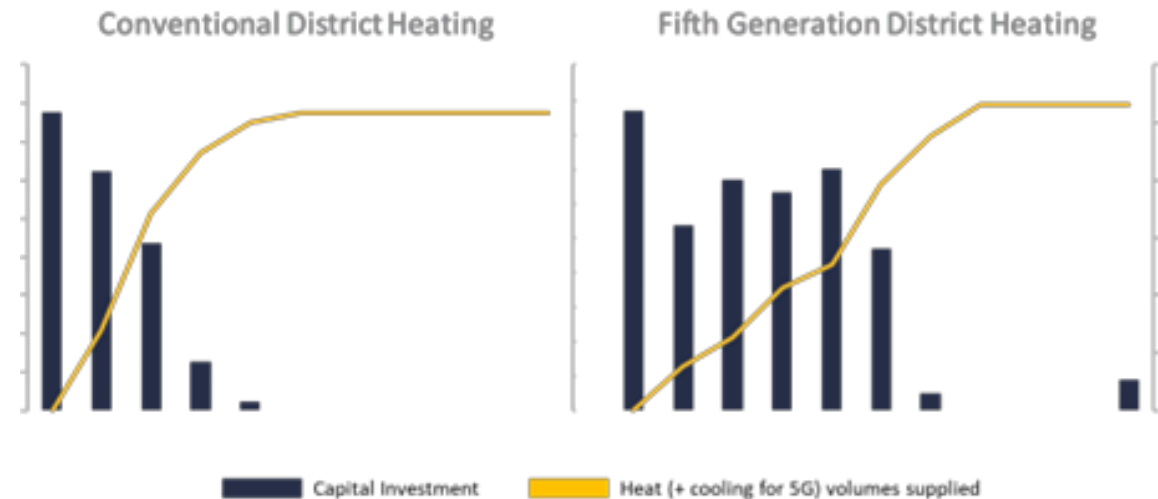


Figure 5: Capex requirements and volume build-up for conventional and 5GDHC networks. Source: Asper Investment Management

Ben-Hamo, Adam, et Olivier Delpon de Vaux. 2020. CASE STUDY OF THE HEERLEN EXPERIENCE - BASELINE REPORT ON OPPORTUNITIES AND BARRIERS.

Le cas de Heerlen (Pays-Bas) : OPEX

- Coûts OPEX de Minjwater à Heerlen à ce jour et projetés :

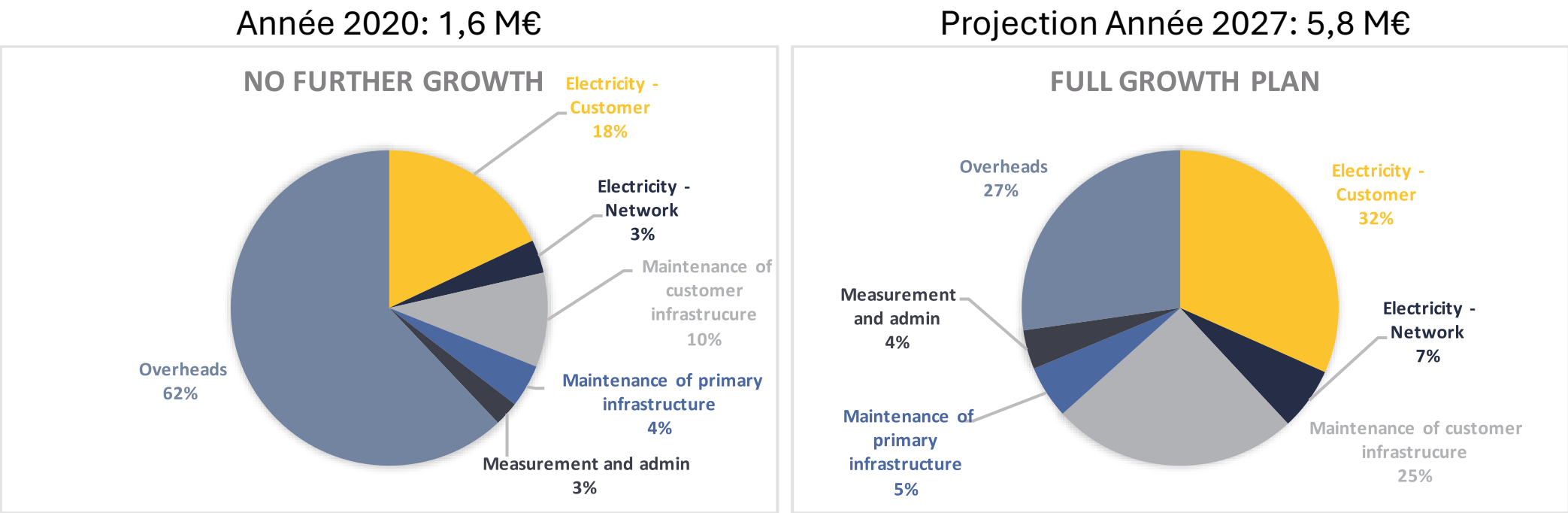


Figure 7: Split of Operating Costs for Mijwater- Today and 2027. Source: Mijwater

Ben-Hamo, Adam, et Olivier Delpon de Vaux. 2020. CASE STUDY OF THE HEERLEN EXPERIENCE - BASELINE REPORT ON OPPORTUNITIES AND BARRIERS.

Étude de cas : opportunité de réseaux thermiques pour un nouveau quartier

Étapes d'une l'analyse d'opportunité



- Évaluation des besoins thermiques du quartier
 - Analyse des données disponibles pour les bâtiments existants
 - Modélisation énergétique des bâtiments
- Évaluation des sources / puits de chaleur
 - Potentiel renouvelable (géothermie, solaire, eaux de surface)
 - Valorisation des rejets thermiques (eaux usées, rejets industriels)
- Conception et analyse des scénarios de réseaux thermiques
 - Modélisation énergétique des réseaux

Equipe de projet

Cette analyse effectuée est le fruit d'un travail collaboratif regroupant quatre organisations qu'Écohabitation a été reconnaissante de reconnaître 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., M.Eng. Denis Royer, Ing. B.Sc., M.Eng., RCx Emmanuel Coghno, directeur général	Rôle et expertise Mandat principal Simulation énergétique Expertise énergétique
	Robert Laroché, directeur général Gheorghe Mihailache, Ing.	Rôle et expertise Ingénierie industrielle et énergétique Évaluation des gisements Conception mécanique
	Jean-Philippe, Ing., M.S.C.A., CEM, CMVP Karim Karzola, M. Ing., LEED AE	Rôle et expertise Modélisation économique et financière Gouvernance Évaluation performance
	Michaël Kummert, professeur titulaire, Ing., M.Sc., Ph.D. Louis Laroche, Ing., étudiant à la maîtrise Samuel Letellier-Ducharme, étudiant au doctorat	Rôle et expertise Simulation énergétique Ingénierie énergétique et mécanique

Quartier Namur Hippodrome

Réseau « 4G » :

- Réseau chaud : alimentation à 75 °C, retour à 45 °C
- Réseau froid : alimentation à 4 °C, retour à 12 °C



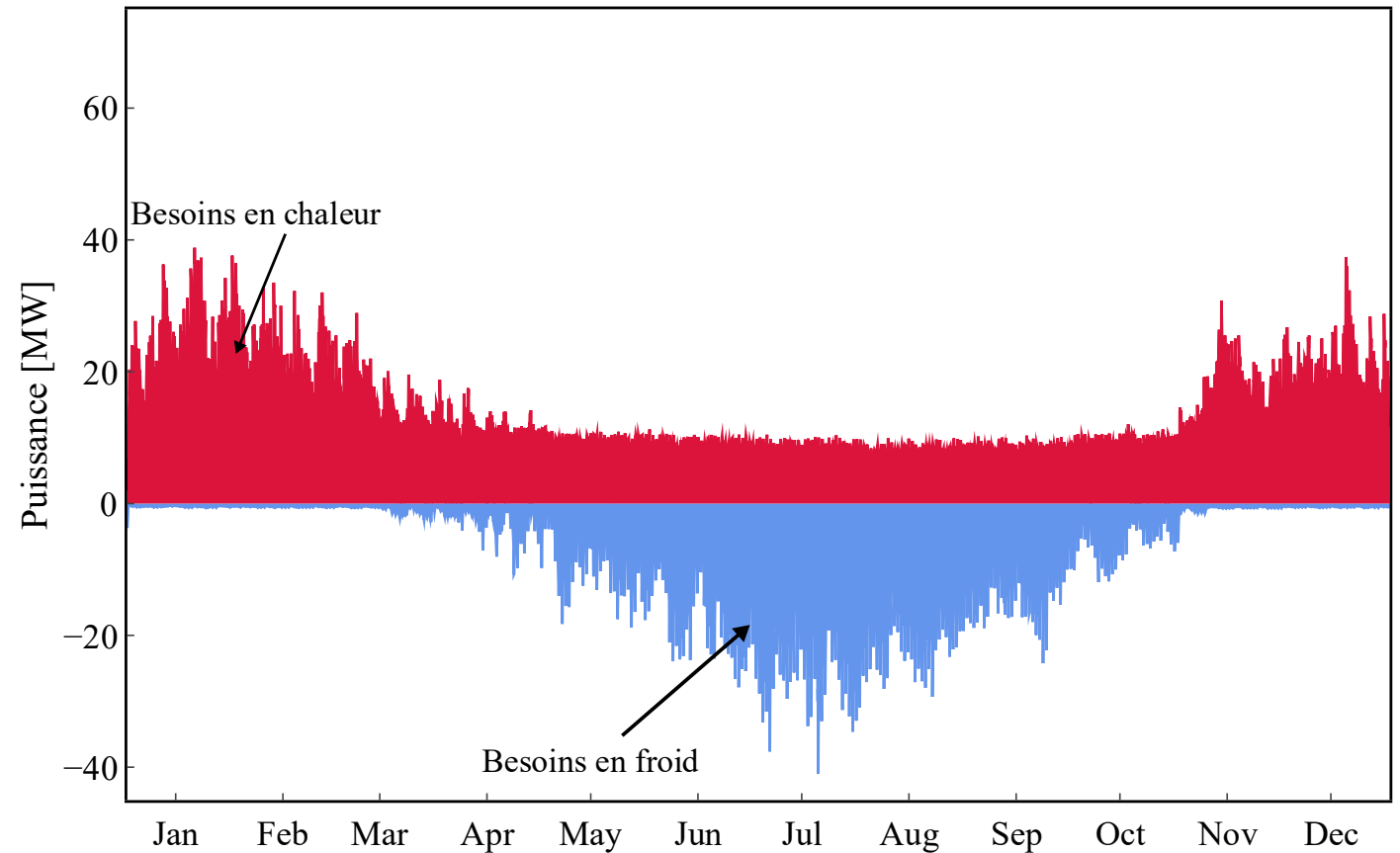
Besoins du quartier

Besoins en chaleur :

- Consommation annuelle = 101.7 GWh
- Pointe annuelle = 38.7 MW

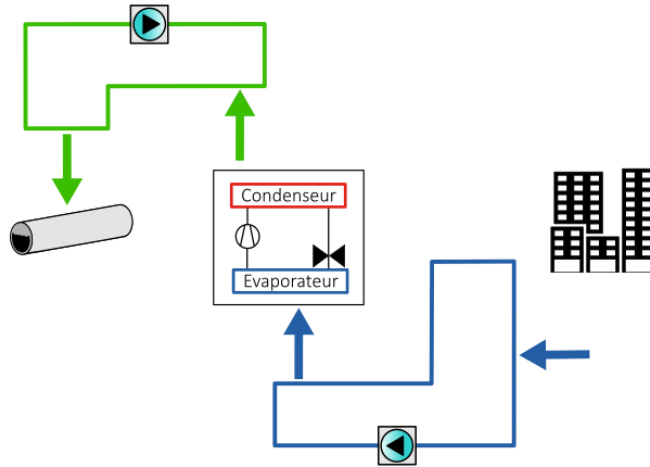
Besoins en climatisation :

- Consommation annuelle = 47.4 GWh
- Pointe annuelle = 41.8 MW

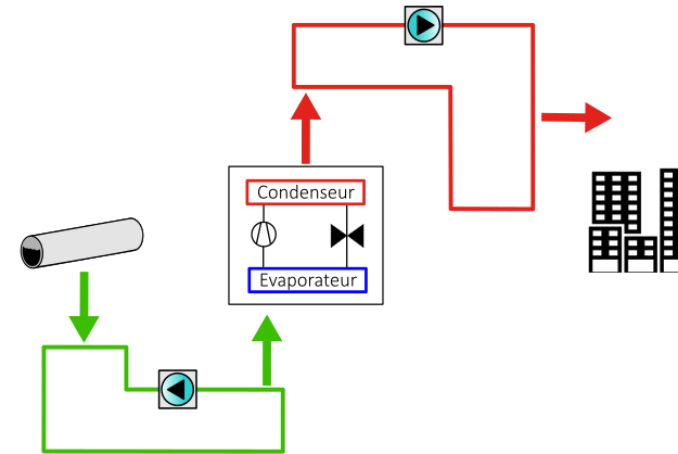


Modèle de pompe à chaleur

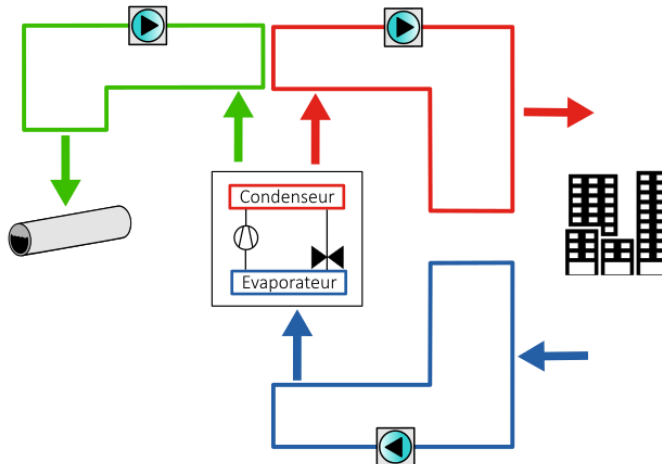
Climatisation



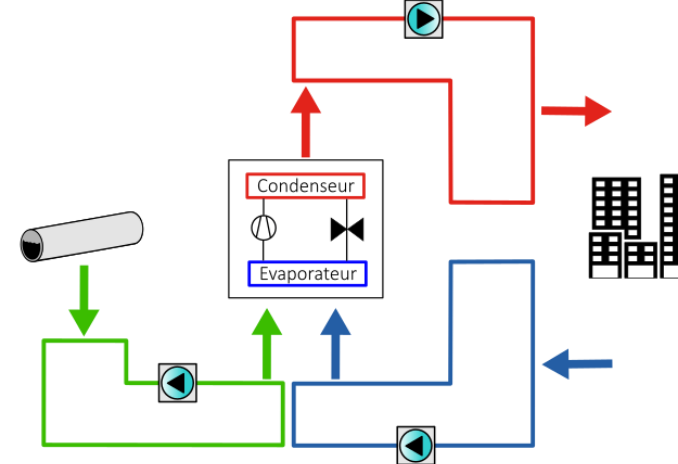
Chauffage



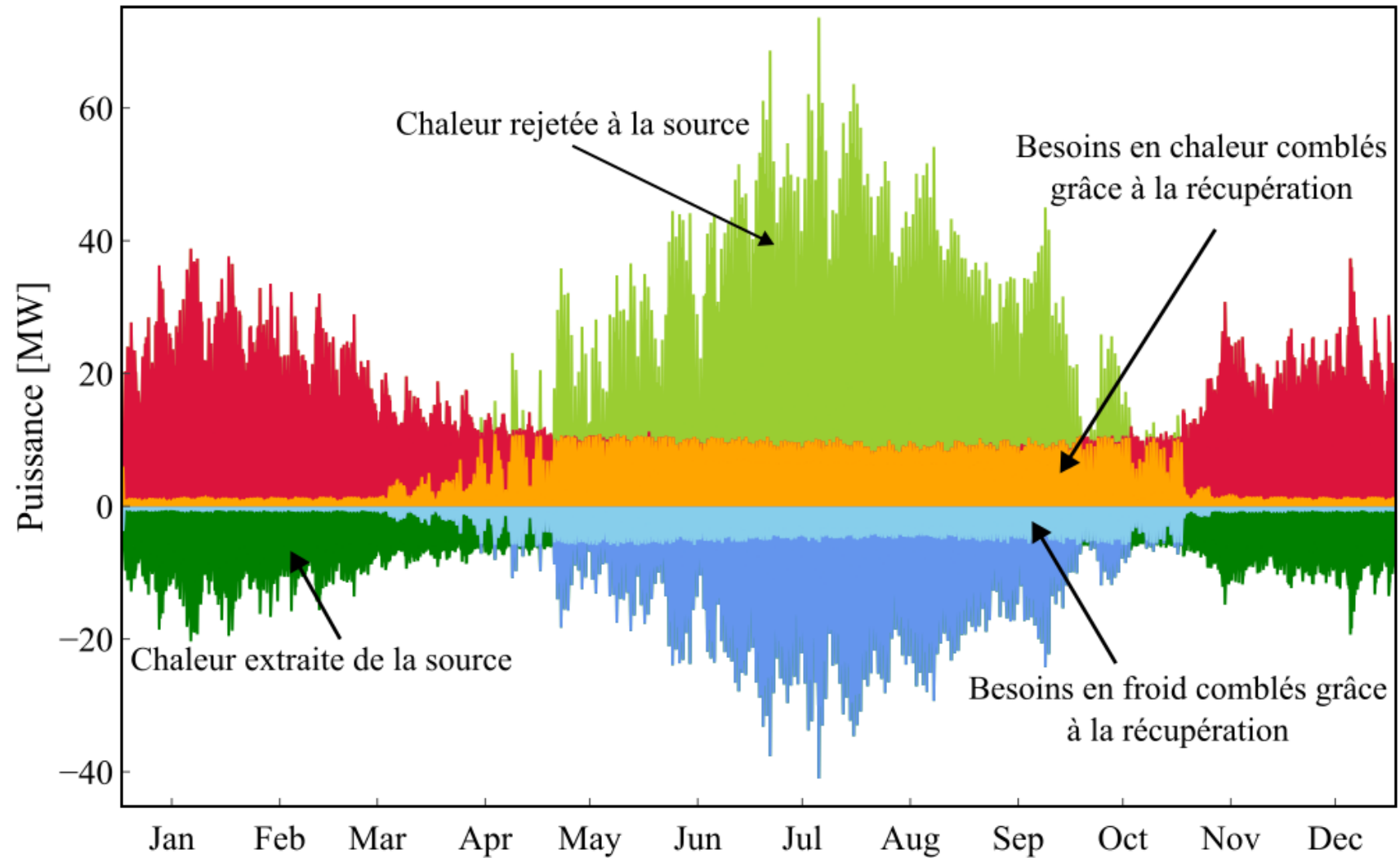
Climatisation + récupération



Chauffage + récupération



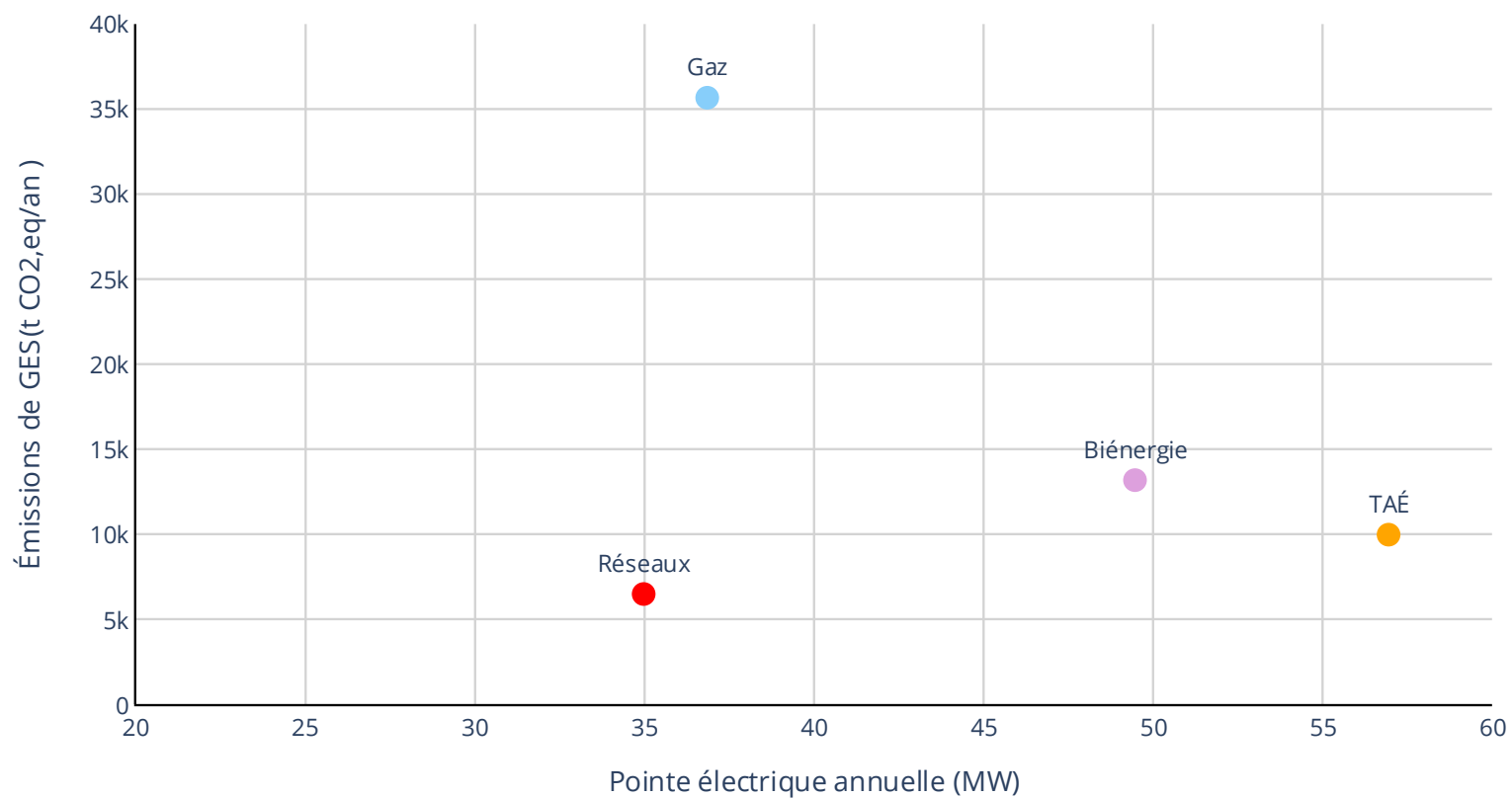
Récupération de chaleur



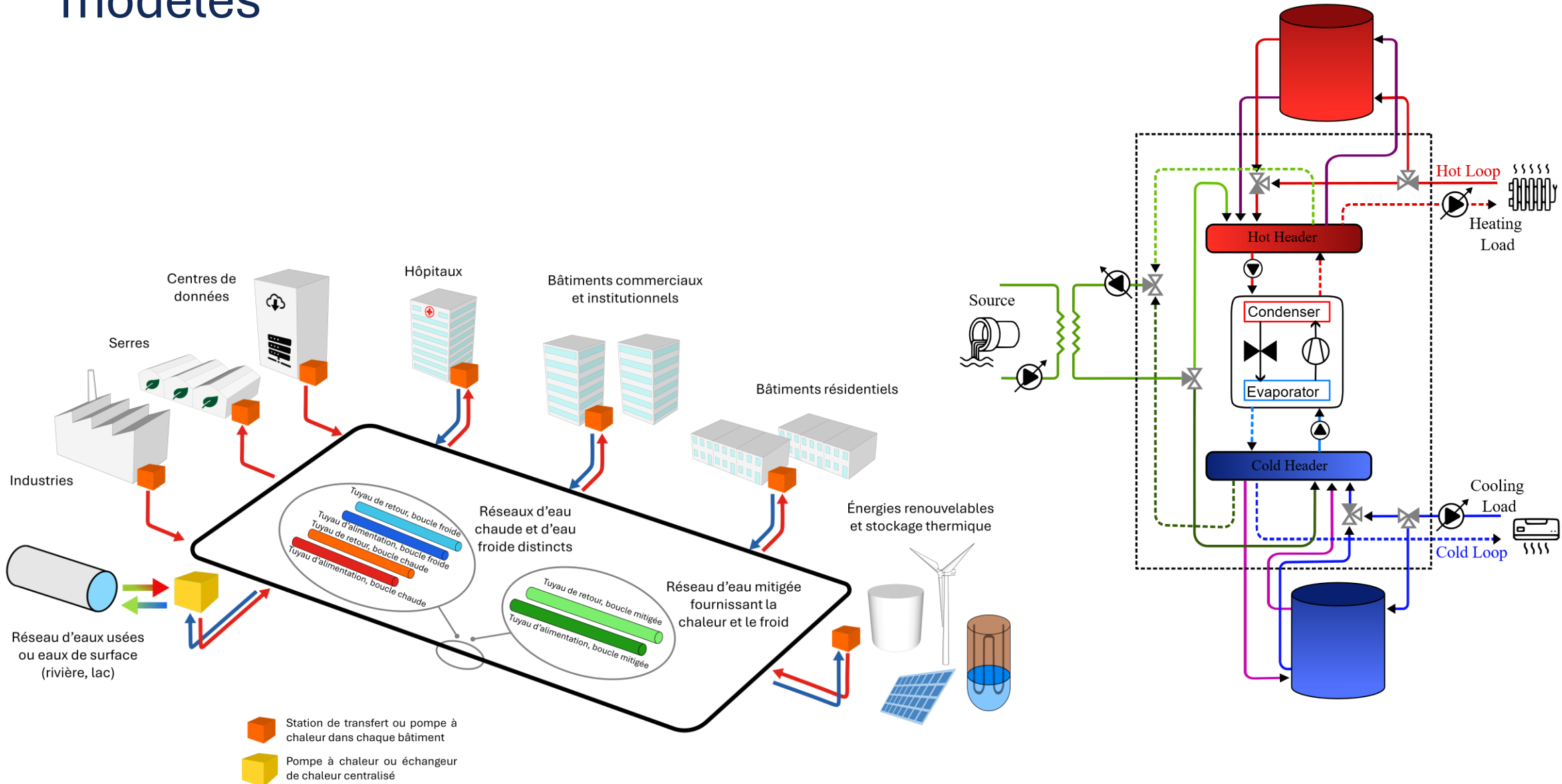
4G ou 5G : peu importe

Les réseaux 4G comme 5G permettent de :

- Réduire les émissions de GES
- Limiter la pointe électrique

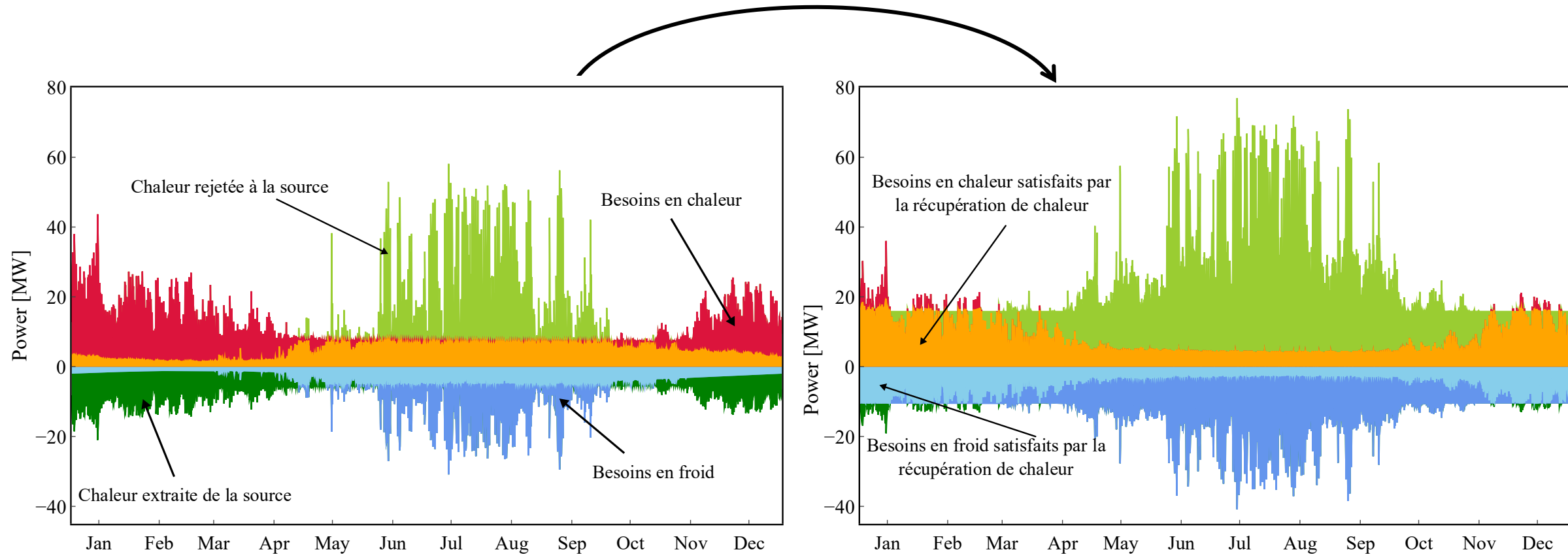


Complexité des réseaux : nécessité de créer de nouveaux modèles



Impact d'un centre de données

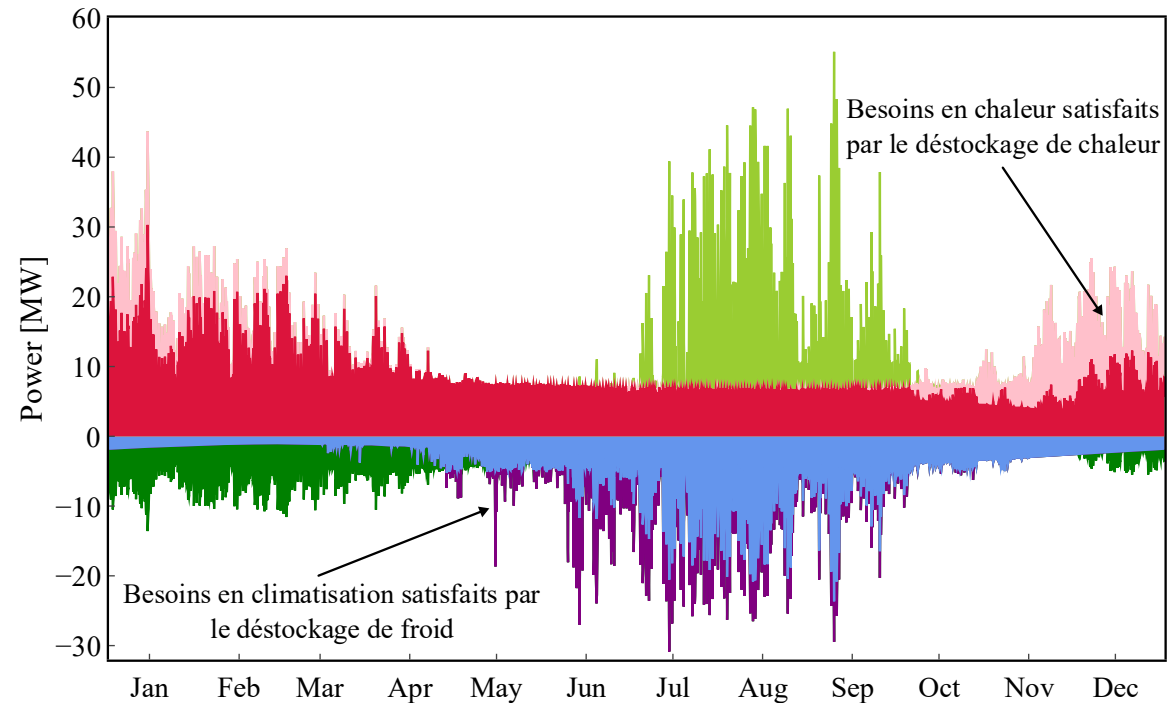
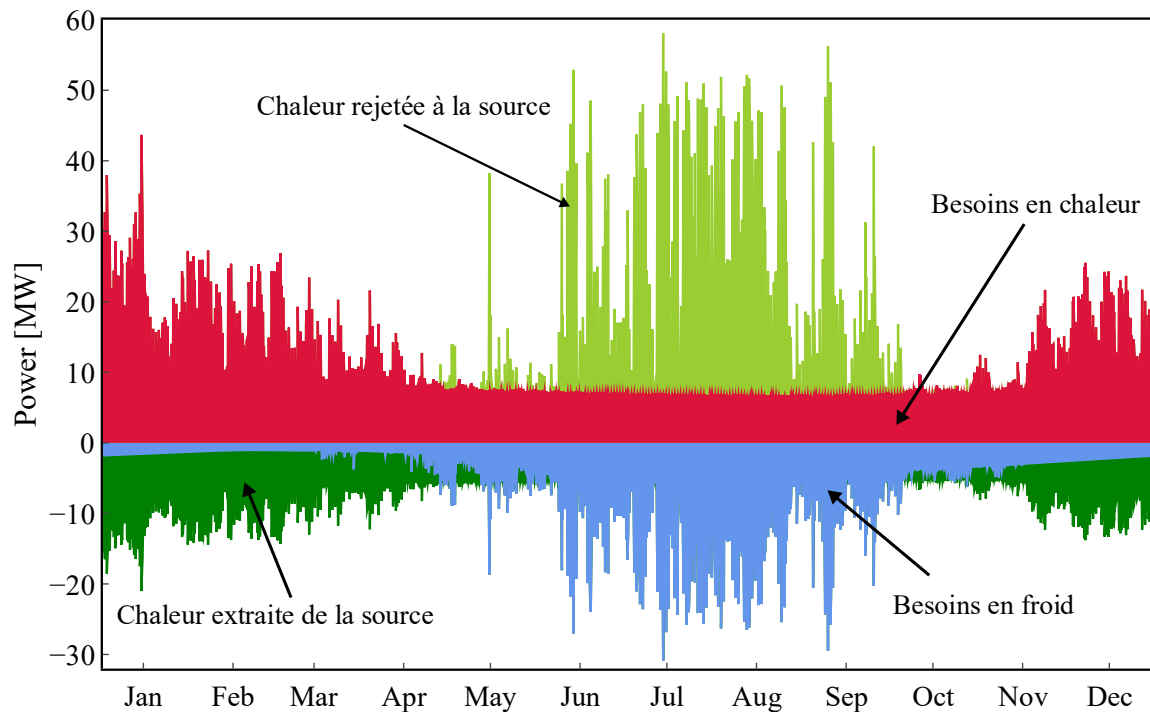
Ajout d'un centre de données (charge
de climatisation de 10 MW)



➔ Améliore la récupération de chaleur

Impact du stockage

Ajout de réservoirs de chaleur et de froid (stockage thermique)



- ➔ Permet de limiter la demande de pointe
- ➔ Améliore la résilience

Résumé et conclusions

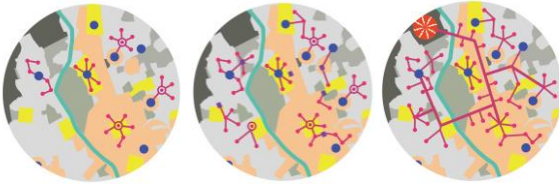
Il y a deux grandes catégories de réseaux thermiques

- Les réseaux de chauffage et de climatisation qui fournissent directement de l'eau chaude et de l'eau froide
 - Si le réseau chaud est à $T \leq 70\text{ °C}$ (160 °F), on peut les appeler 4GDHC
- Les réseaux qui fournissent une source (un puits) thermique pour des pompes à chaleur décentralisées et qui sont « pilotés par la demande »
 - On peut les appeler 5GDHC
- Le passage de la « 4G » à la « 5G » n'implique pas nécessairement une amélioration des performances

Les réseaux « 4GDHC » et les réseaux « 5GDHC » permettent de décarboner mieux que les solutions individuelles

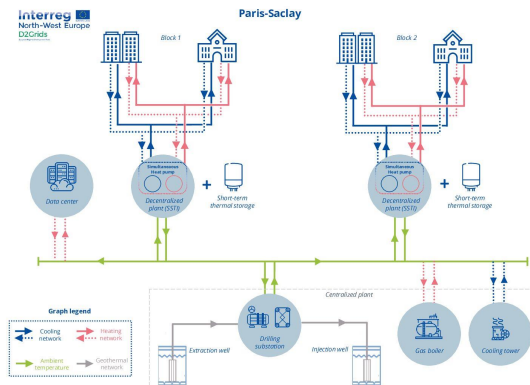
- Intégration des sources renouvelables et de valorisation des rejets thermiques
- Intégration du stockage thermique
- Mitigation des impacts de la décarbonation sur la demande de pointe en électricité
- Le choix d'une configuration ou d'une autre dépend de plusieurs facteurs
 - Pour choisir, il faut analyser les options avec des outils de modélisation adaptés

Et donc... Quels réseaux pour le Québec ?



Il n'y a pas « une meilleure solution », mais des meilleures solutions selon le contexte. Il faut considérer :

- Le bilan chaud / froid « instantané » et annuel
- Les sources / puits disponibles, y compris la valorisation des rejets thermiques
- La résilience
- Les flux financiers, et le problème de « l'œuf ou la poule »
- Les enjeux de gouvernance (y compris la facturation)
- La complexité hydraulique

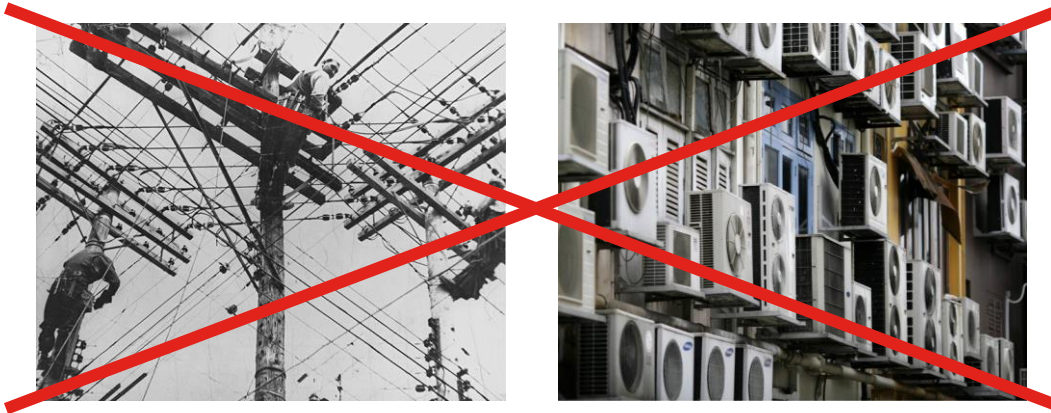


On peut profiter de synergies entre les réseaux de différents types, qui ne sont pas exclusifs

Références

- Ben-Hamo, Adam, et Olivier Delpon de Vaux. (2020). *Case Study of the Heerlen Experience – Baseline Report on Opportunities and Barriers*.
- Buffa, S., Cozzini, M., D’Antoni, M., Baratieri, M., & Fedrizzi, R. (2019). *5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 104
- D2Grids Project. (2021). *D2Grids: Les 5 principes des réseaux de chaleur et de froid urbains de 5ème génération*.
<https://www.construction21.org/data/sources/users/37955/20230124133915-flyerfr-v3.pdf>
- Écohabitation, ATIS Technologies, Dunskey, & Polytechnique Montréal. (2019). Étude d’opportunité pour le développement d’un réseau thermique dans le secteur des Faubourgs. Écohabitation. https://ocpm.qc.ca/sites/default/files/pdf/P109/3.4.3_rapport_reseauthermique_faubourgs_2019vf.pdf
- IEA-DHC. (2024). *District heating network generation definitions*. International Energy Agency District Heating and Cooling programme. King, M., & Parks, M. (2012). *Community energy: Planning, development and delivery*. International District Energy Association.
- King, M., & Parks, M. (2012). *Community energy: Planning, development and delivery*. International District Energy Association.
- Nichol Brummer. 2020. « Mijwater Heerlen ». *Construction21.Org*. Consulté 16 mai 2025 (<https://www.construction21.org/algerie/infrastructure/i/mijnwater-heerlen.html>).
- Sommer, T., Mennel, S., & Sulzer, M. (2019). Lowering the pressure in district heating and cooling networks by alternating the connection of the expansion vessel. *Energy*, 172, 991–996.
- Wirtz, M., Kivilip, L., Remmen, P., et Müller, D. (2020). *Quantifying Demand Balancing in Bidirectional Low Temperature Networks*. *Energy and Buildings*, 224, p. 110245
- Yao, S., Wu, J., & Qadrdan, M. (2024). *A state-of-the-art analysis and perspectives on the 4th/5th generation district heating and cooling systems*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 202, p. 114729
- Zhang, Y., Johansson, P., & Sasic Kalagasidis, A. (2022). *Assessment of district heating and cooling systems transition with respect to future changes in demand profiles and renewable energy supplies*, *Energy Conversion and Management*, 268, p. 116038

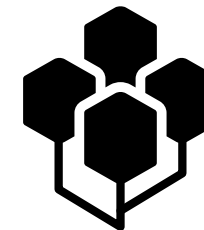
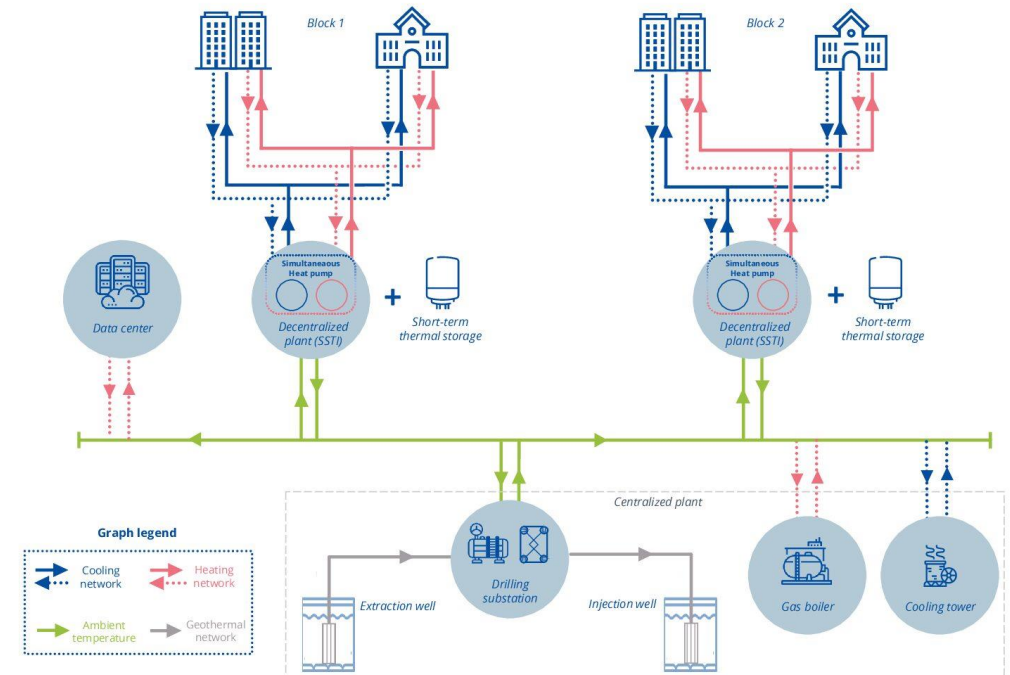
Merci de votre attention



Contact:

Michaël Kummert
Département de génie mécanique
Polytechnique Montréal

michael.kummert@polymtl.ca



**POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL**

