



# Pompes à chaleur CO<sub>2</sub> de grande capacité

Symposium Réseau Énergie et Bâtiments  
29 Novembre 2023



# Contexte & objectifs du projet

## Le projet s'inscrit dans la stratégie d'Hydro Québec

- Contribuer à la transition énergétique en offrant à sa clientèle d'affaires des solutions durables pour le chauffage de l'espace et la production d'eau chaude (déplacement des énergies fossiles/réduction GES)
- Réaliser des ventes efficaces d'électricité sans impact sur le réseau pendant la période de pointe
- Promouvoir l'efficacité énergétique pour atteindre la cible fixée à 8,2 TWh à l'horizon de 2030

## Objectifs principaux du projet

- Développement d'une thermopompe de grande capacité utilisant le CO<sub>2</sub> en partenariat avec Vilter/Copland
- Couplage thermopompe-stockage
- Logiques de contrôle
  - Optimisation des performances
  - Contrôle prédictif
  - Connectivité
- Déploiement de la solution



# Hydro Québec valide la technologie des PAC transcritique au CO<sub>2</sub> de grande capacité

Laboratoire des technologies de l'énergie (LTE) Shawinigan (QC)

## Pompe à chaleur testée dans un environnement simulé en laboratoire

- PAC CO<sub>2</sub> conçu par Vilter pour les applications de chauffage/refroidissement et de l'ECS
- Performances et contrôle validés dans des conditions réelles d'opération
- Puissance: Chauffage: 1,350 kW (4.6 MMBtu/h) | Refroid.: 953 kW (271 TR)

## Le plus grand producteur d'électricité du Canada s'intéresse à la flexibilité du réseau du côté de la demande

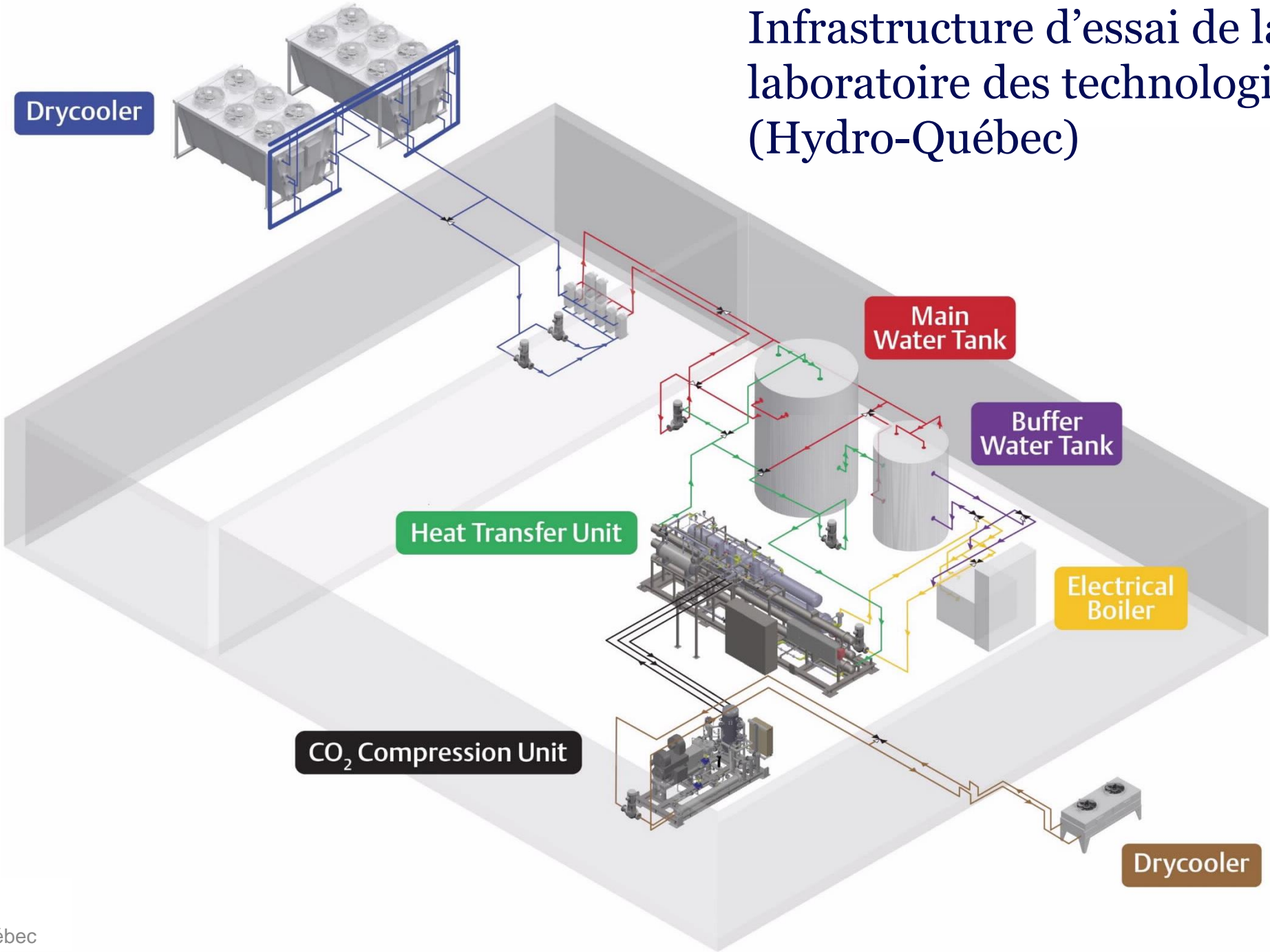
- L'électrification augmentera la pointe en puissance sur le réseau de distribution
- Le remplacement des chaudières au gaz vers des chaudières électriques occasionnerait une augmentation considérable de la pointe.
- La PAC combinée au stockage thermique offre un précieux potentiel de flexibilité de la demande sur le réseau
- Dans le contexte de la transition énergétique, la flexibilité de la demande a été identifiée comme une exigence clé pour le réseau électrique du futur

**Performance durable – Plus de 13500 heures d'opération depuis 2020**

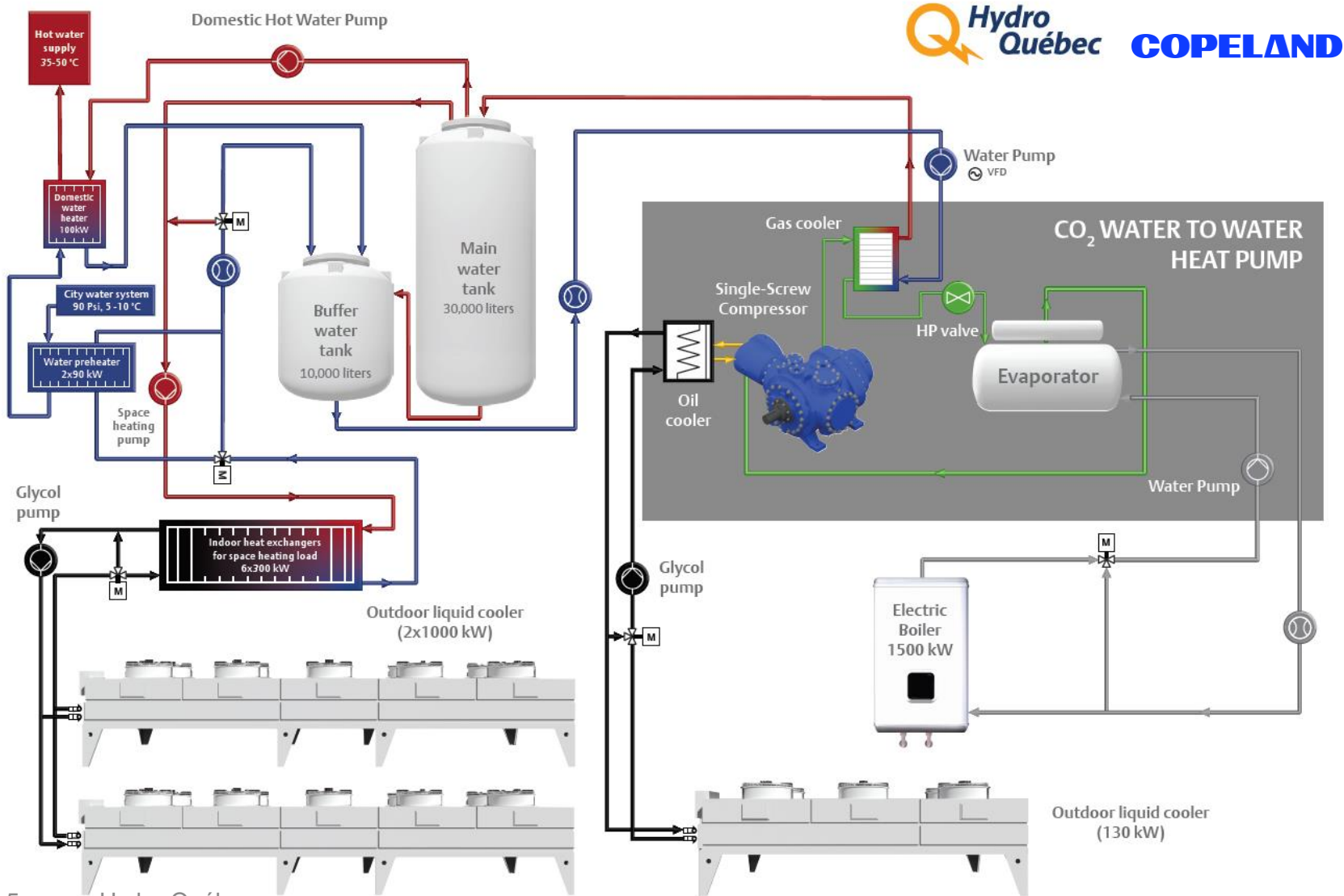




# Infrastructure d'essai de la PAC au laboratoire des technologie d'énergie (Hydro-Québec)



# Schéma de principe du système



## Contrôle

- 3 PLC Allen Bradley PLC, 1 ordinateur industriel

## Instrumentation

- Températures: 200 pts
- Pression: 50 pts
- Débit: 15 pts
- Puissance: 10 pts
- Autres: RPM, Couple, Niveau de liquide, ppm CO<sub>2</sub>
- Acquisition: Base de données indépendante

## Équipement

- Chaudière électrique (1x 1.5 MW)
- Stockage thermique:
  - 1 réservoir de 30 m<sup>3</sup>
  - 1 réservoir de 10 m<sup>3</sup>
- Échangeurs de chaleur:
  - 6 échangeurs de 300 kW
  - 2 échangeurs de 100 kW
  - 1 échangeur de 130 kW
- Refroidisseurs de glycol extérieurs:
  - 2 refroidisseurs x 1.1 MW
  - 2 refroidisseurs x 130 kW
- Compresseur:
  - 1 x vis unique / Single-Screw (222 CFM)

# Schéma d'écoulement de la Megapac

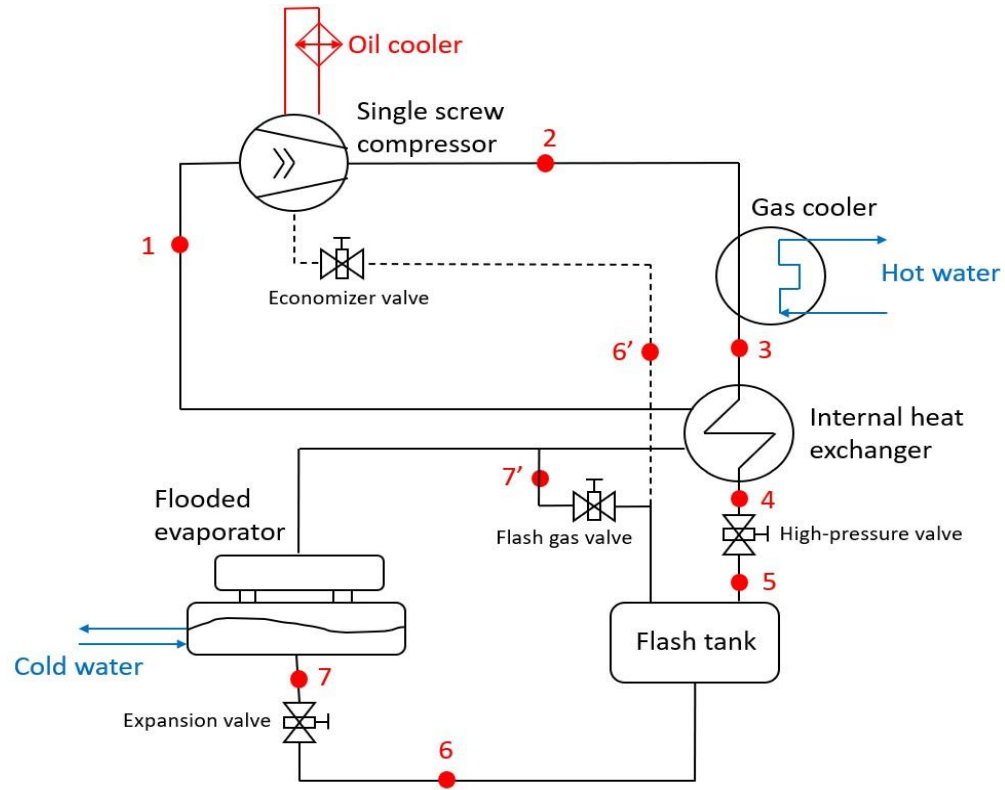


Schéma simplifié de la pompe à chaleur transcritique CO<sub>2</sub>

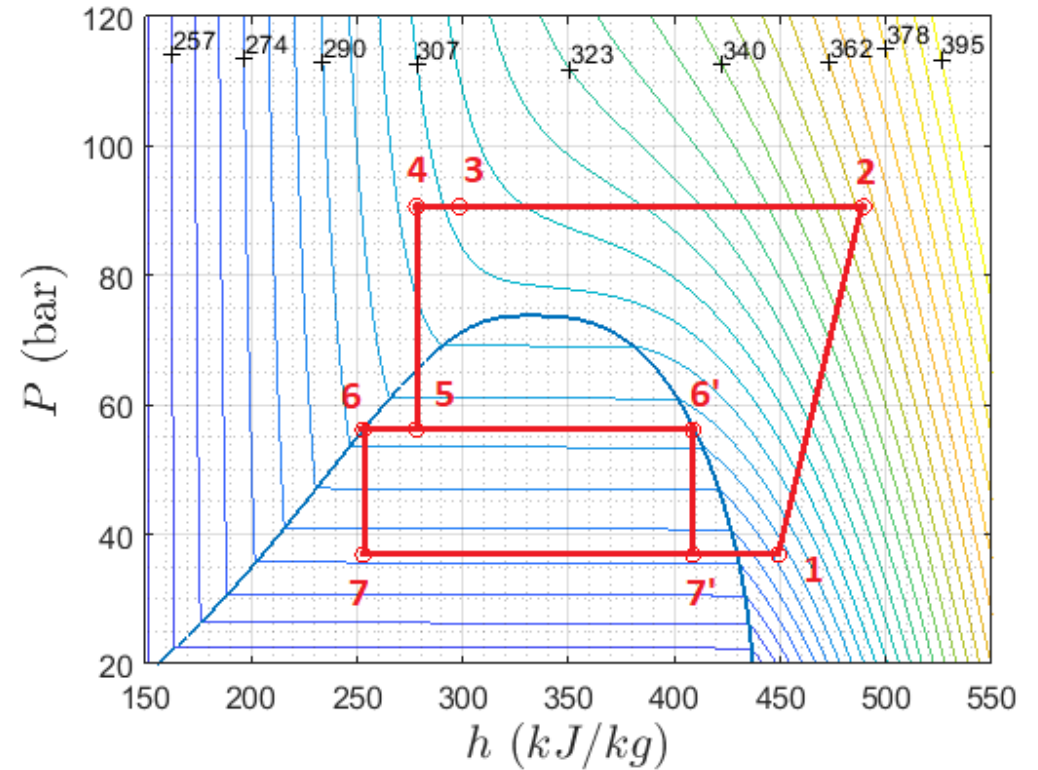
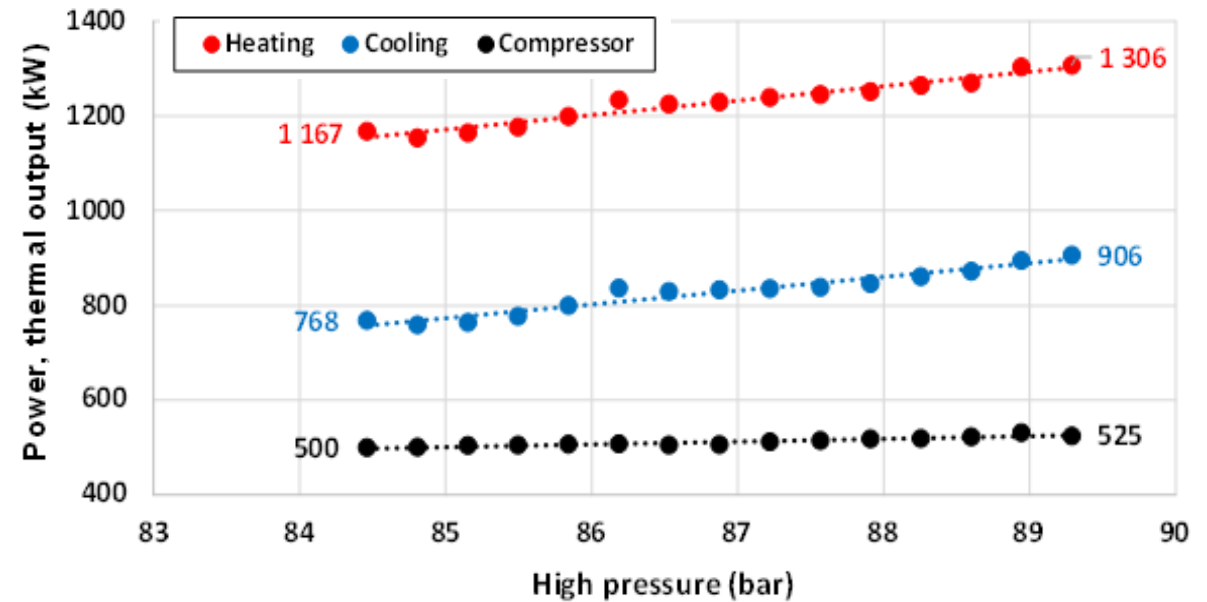
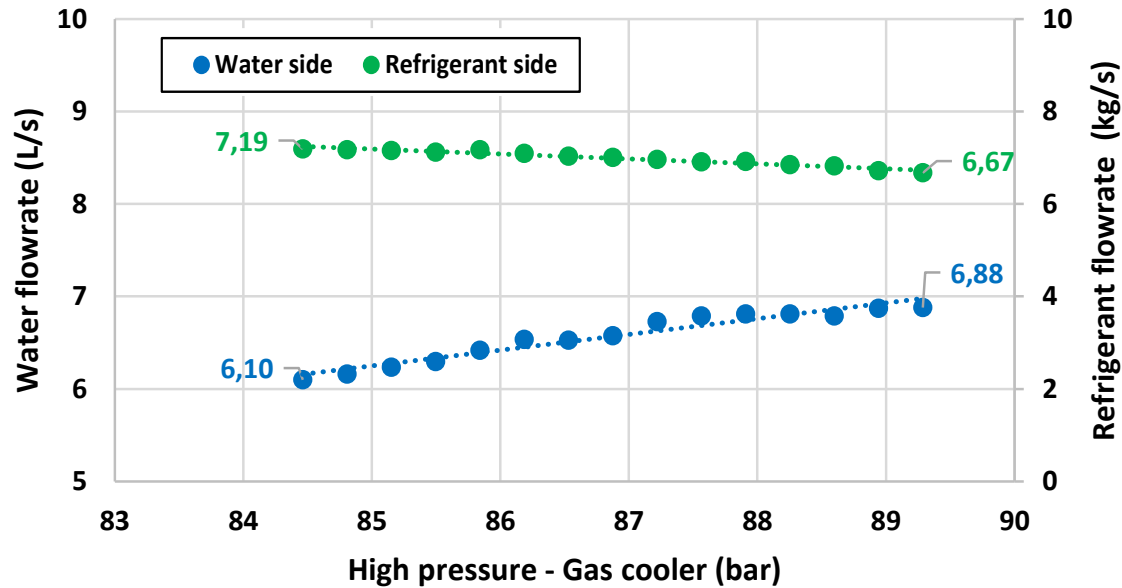


Diagramme pression – enthalpie

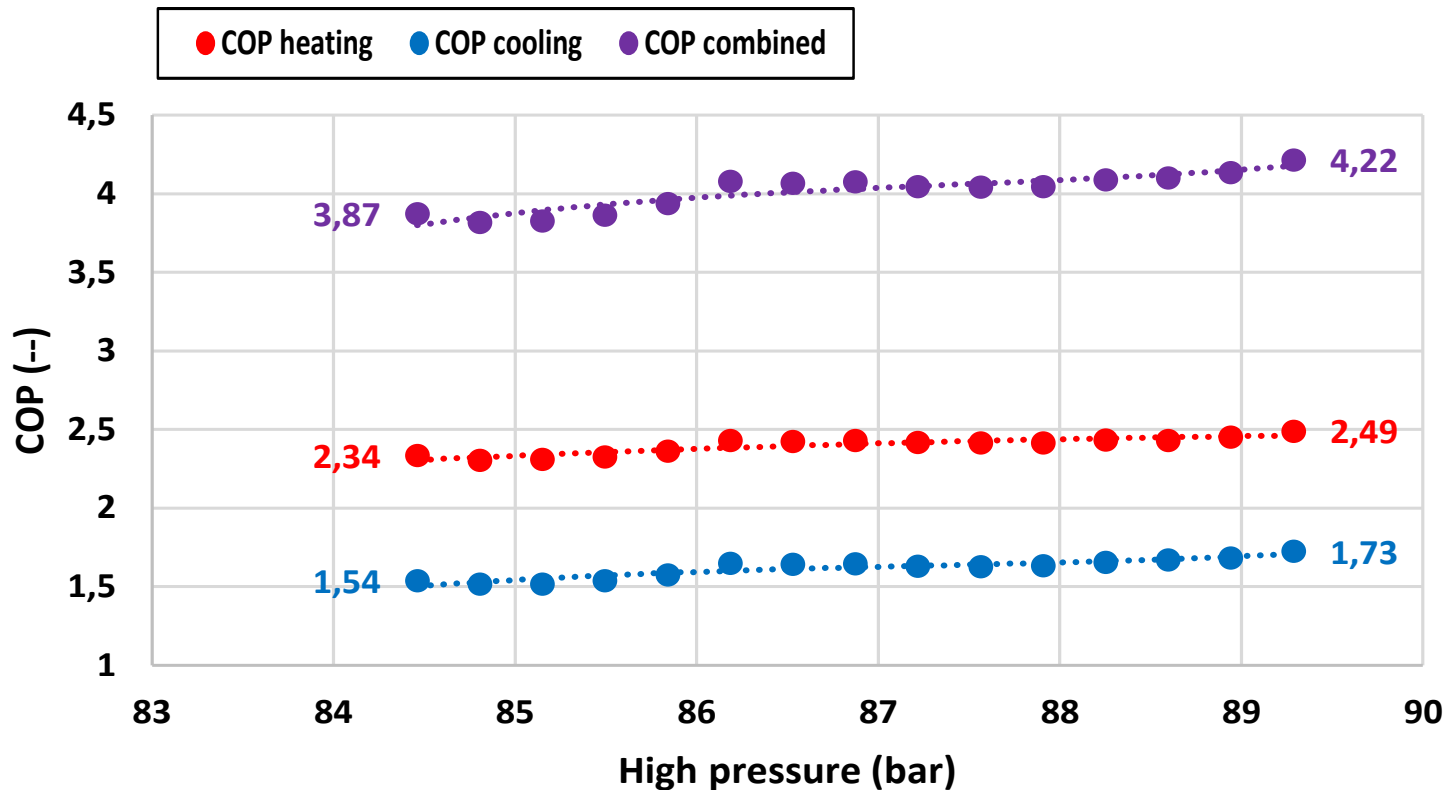
# Effet de la pression de refoulement (haute pression)



□ Lorsque la pression de décharge  $\uparrow$ , le débit massique de CO<sub>2</sub> progressivement  $\downarrow$  (ajustement de l'ouverture de la EEV), accumulation excessive de CO<sub>2</sub> dans le refroidisseur de gaz  $\Rightarrow$  la décharge P et T et la chaleur générée au niveau du refroidisseur de gaz  $\uparrow$ .

□ Lorsque la pression de décharge  $\uparrow$ , la puissance de chauffage et de refroidissement  $\uparrow$ . Dès lors que la EEV ferme, la pression de décharge (et T)  $\uparrow$ , et la pression d'aspiration  $\downarrow$  ( $T_{\text{evap}} \downarrow$ ). Ainsi, les débits d'eau  $\uparrow$  dans le refroidisseur de gaz et l'évaporateur pour maintenir les températures de sortie constantes.

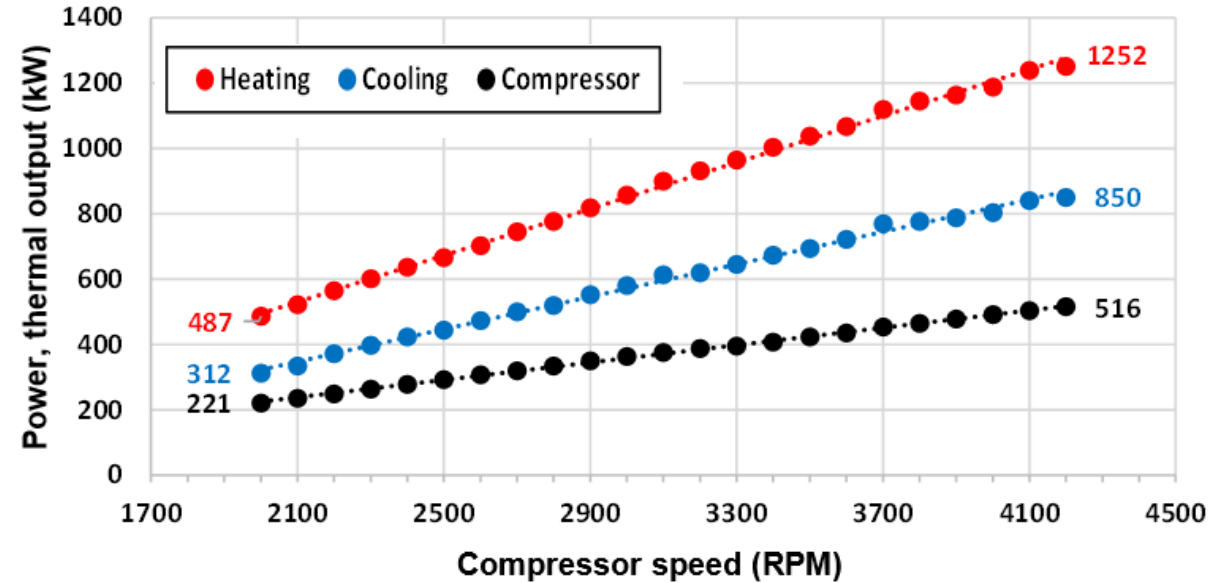
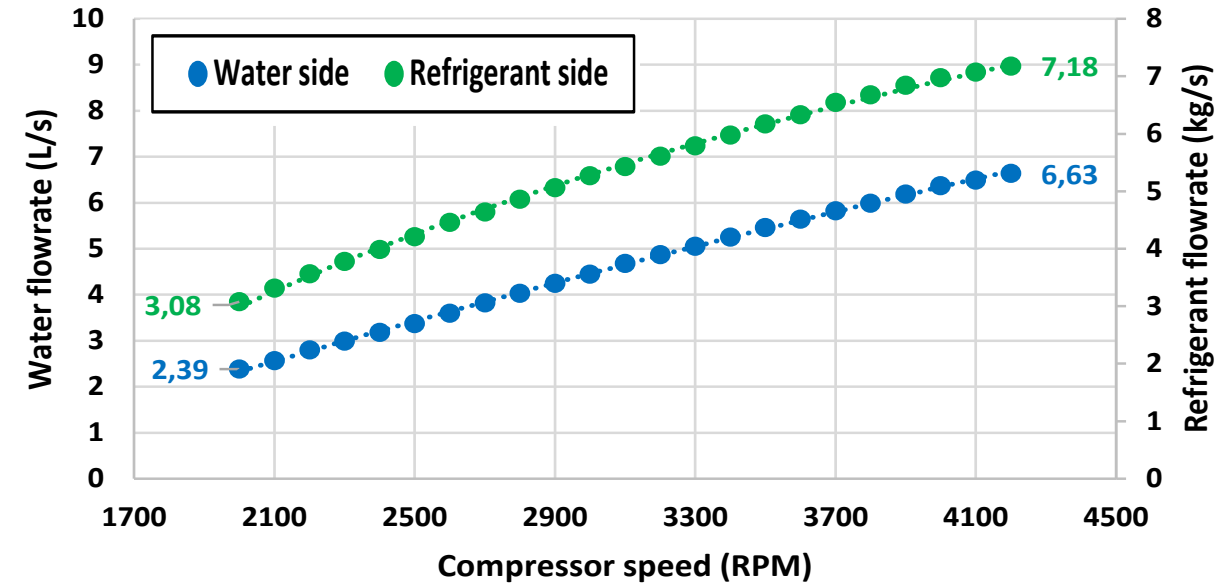
# Effet de la pression de refoulement (haute pression)



- ❑ Lorsque la pression de décharge ↑, le COP ↑ de manière régulière.
- ❑ La pression de décharge testée n'excédant pas 90 bars, son optimum (maximisation du COP) n'a pas été atteint.
- ❑ À noter que l'incertitude sur le COP est de 3,92%



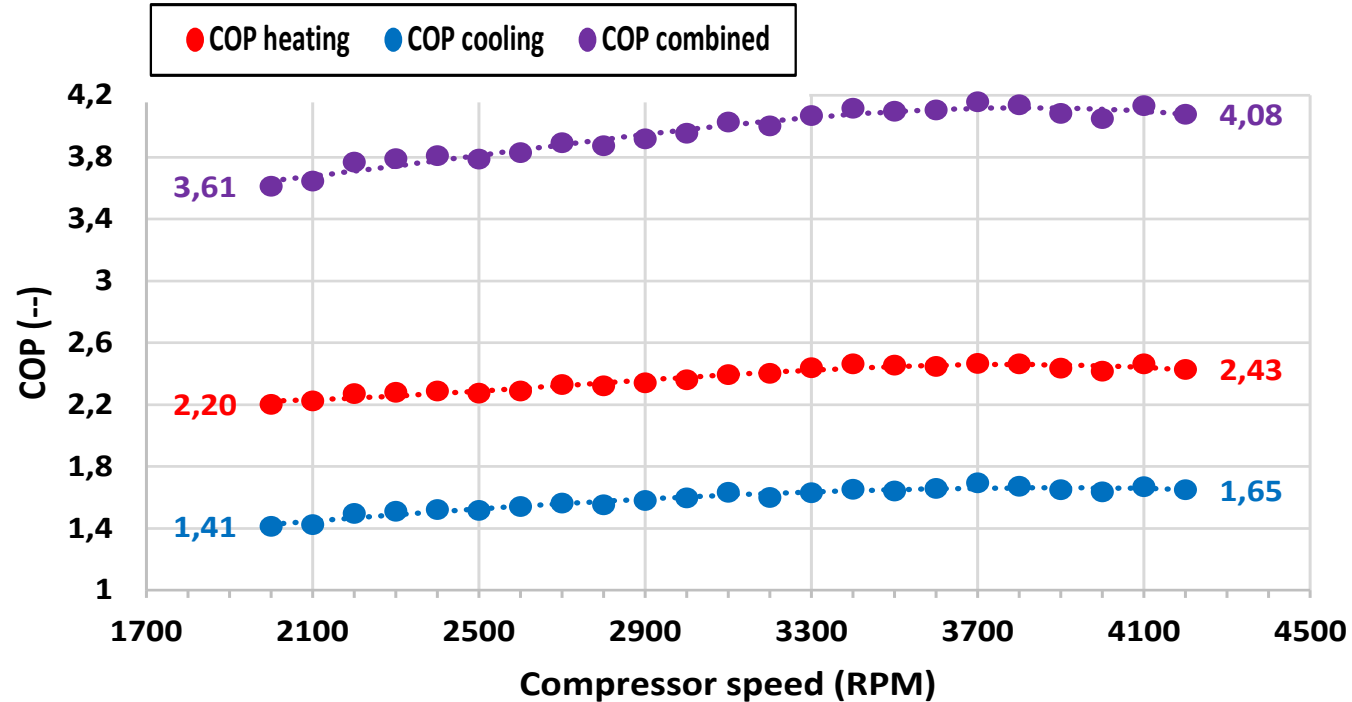
# Effet de la vitesse du compresseur



À mesure que la vitesse du compresseur ↑, la EEV s'ouvre pour maintenir la pression de décharge constante. Ainsi, le débit de réfrigérant ↑ ainsi que le débit d'eau puisqu'il faut évacuer plus d'énergie thermique.

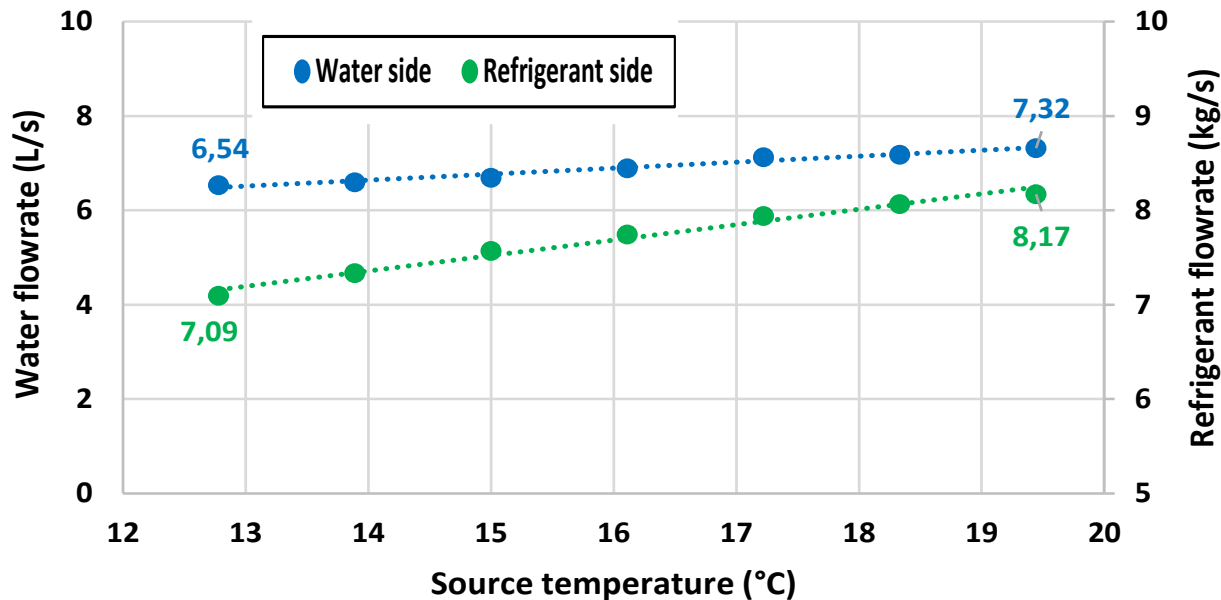
- La puissance générée au travers du RG ↑ alors que la vitesse du compresseur ↑.
- Lorsque la vitesse du compresseur passe de 4200 à 2000 tr/min, la demande de puissance est réduite de 57%.

# Effet de la vitesse du compresseur



- ❑ Lorsque la vitesse du compresseur dépasse 3600 tr/min le COP diminue. (60Hz)
- ❑ Les performances ne diminuent que de 12% lorsque la vitesse du compresseur passe de 4200 à 2000 tr/min .
- ❑ Ceci a un impact important pour les applications GDP / DR pour lesquelles la variation de vitesse du compresseur constitue un avantage.

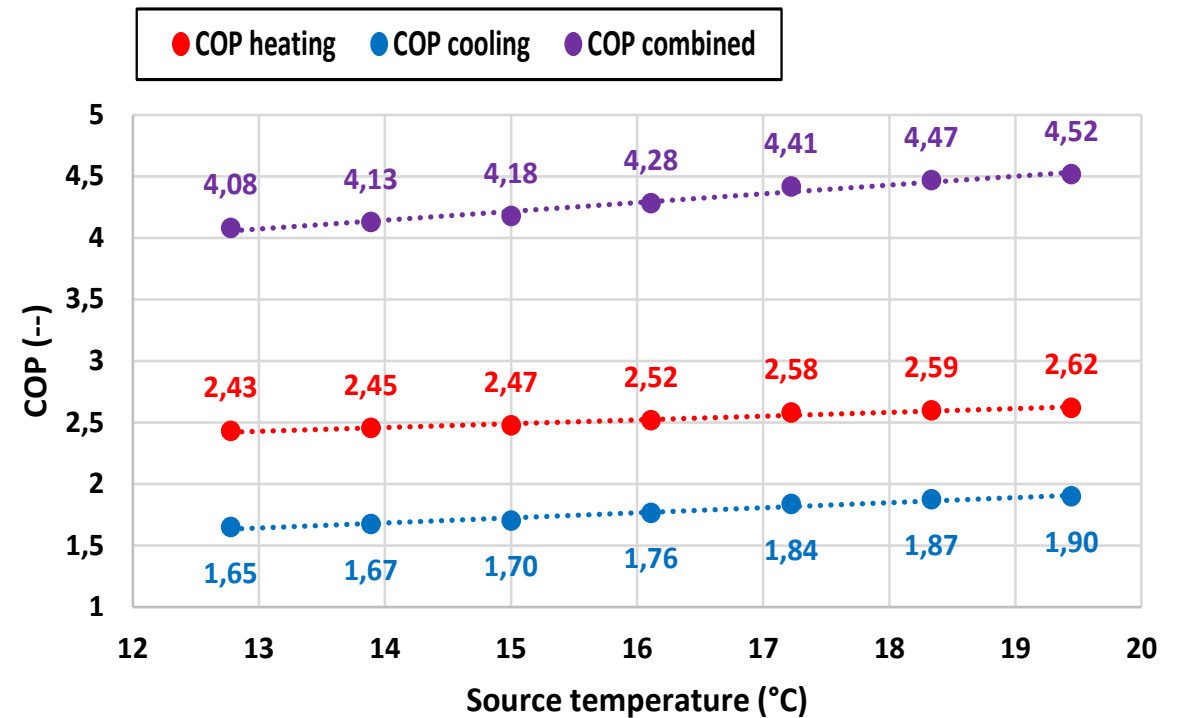
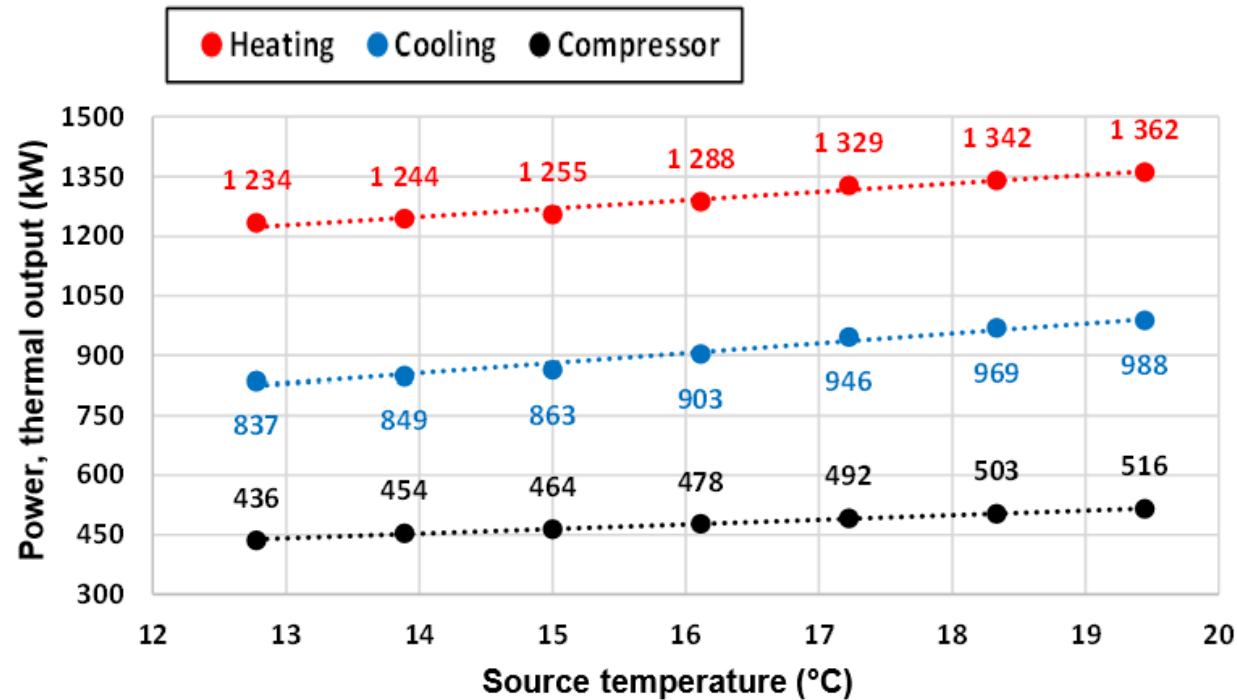
# Effet de la température de la source de chaleur



- ❑ La température de la source de chaleur est représentée par la température de l'eau d'entrée à l'évaporateur. Ce paramètre a varié de 12°C à 20°C.
- ❑ Les températures à l'entrée et à la sortie du RG sont maintenues respectivement à 20°C and 60°C, respectively. La vitesse du compresseur est fixée à 4200 tr/min et la haute pression est fixée à 86.2 bar.
- ❑ Lorsque la température de la source de chaleur ↑, les débits de part et d'autre du RG ↑ (amélioration de la cinétique d'évaporation). Étant donné que davantage de chaleur est absorbée par l'évaporateur, on s'attend à ce que davantage de chaleur soit libérée au niveau du RG. Le débit d'eau ↑ pour maintenir la température de sortie d'eau à la consigne de 60°C.

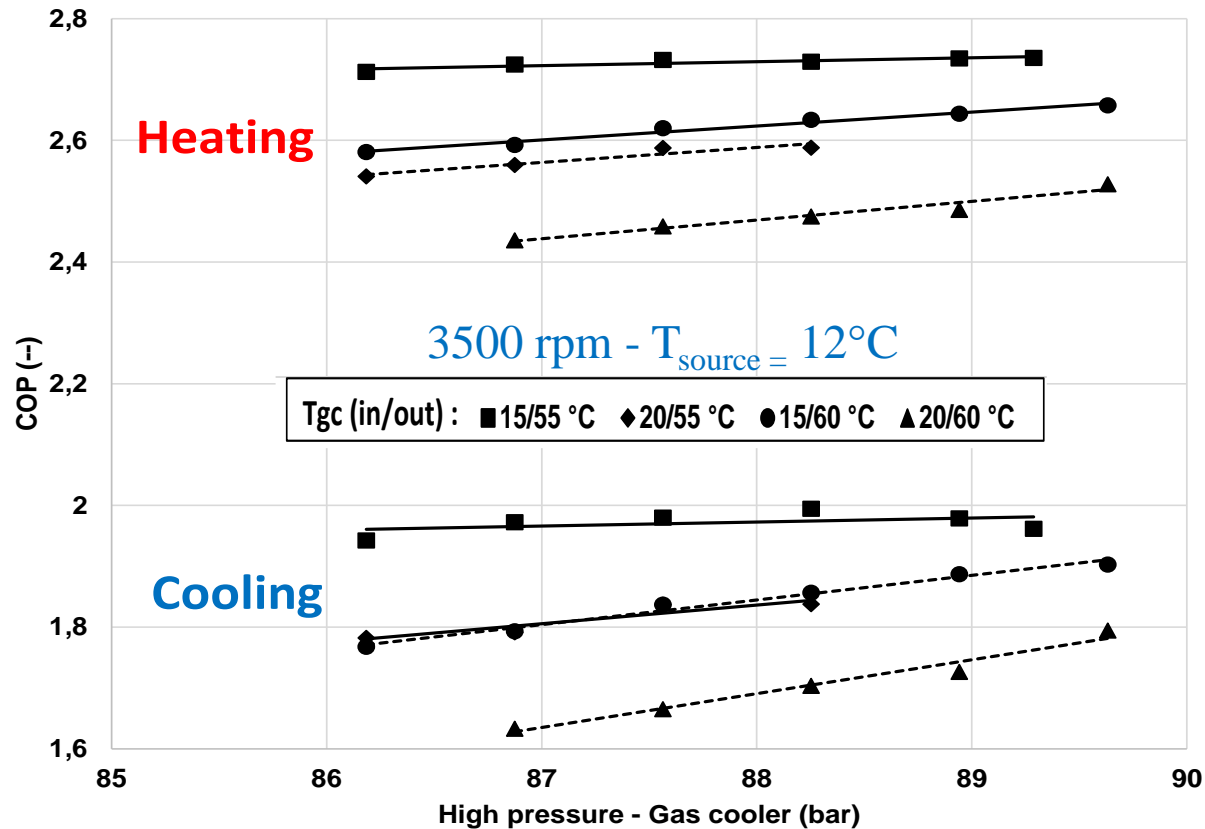


# Effet de la température de la source de chaleur



- Lorsque la température de la source de chaleur au niveau de l'évaporateur ↑, la chaleur est adsorbée et rejetée par la pompe à chaleur ↑. La demande de puissance du compresseur ↑ (le débit de réfrigérant ↑ dû à une amélioration du processus de vaporisation) ⇒ COP ↑.

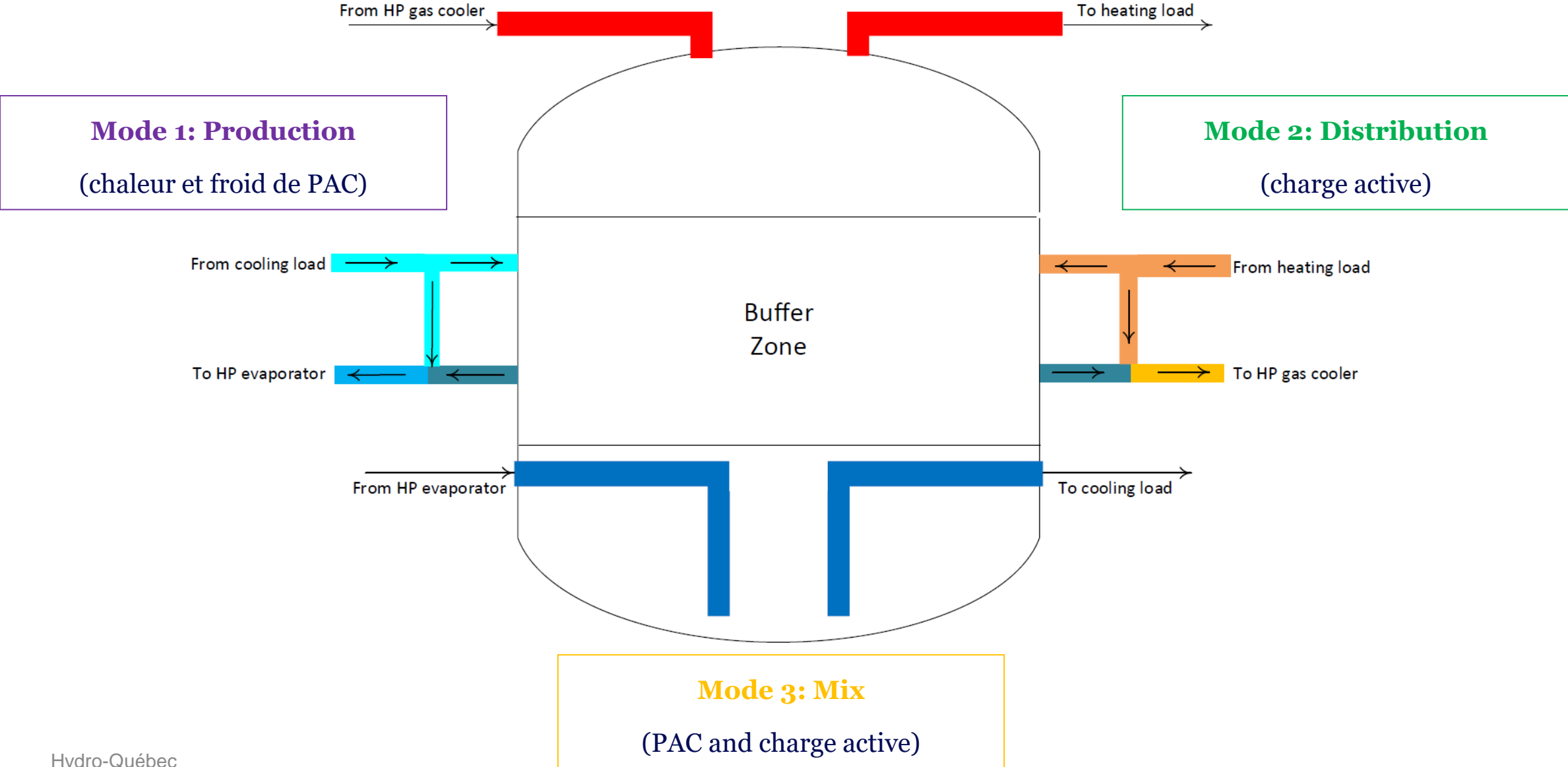
# Effet de la température du puit (*heat sink*)



□ Pour une température de sortie constante au niveau du refroidisseur de gaz, lorsque la température d'entrée  $\uparrow$ , la performance  $\downarrow$ . Puisqu'une augmentation de la température d'entrée entraîne une augmentation de la température du CO<sub>2</sub> à la sortie du refroidisseur de gaz, la chaleur absorbée au niveau de l'évaporateur est moindre et par conséquent, la puissance thermique diminue.

□ Lorsque la température d'entrée est maintenue constante, toute diminution de la température de sortie entraînera une augmentation du COP (le débit d'eau à travers le RG  $\uparrow$  lorsque la température de sortie  $\downarrow$ ).

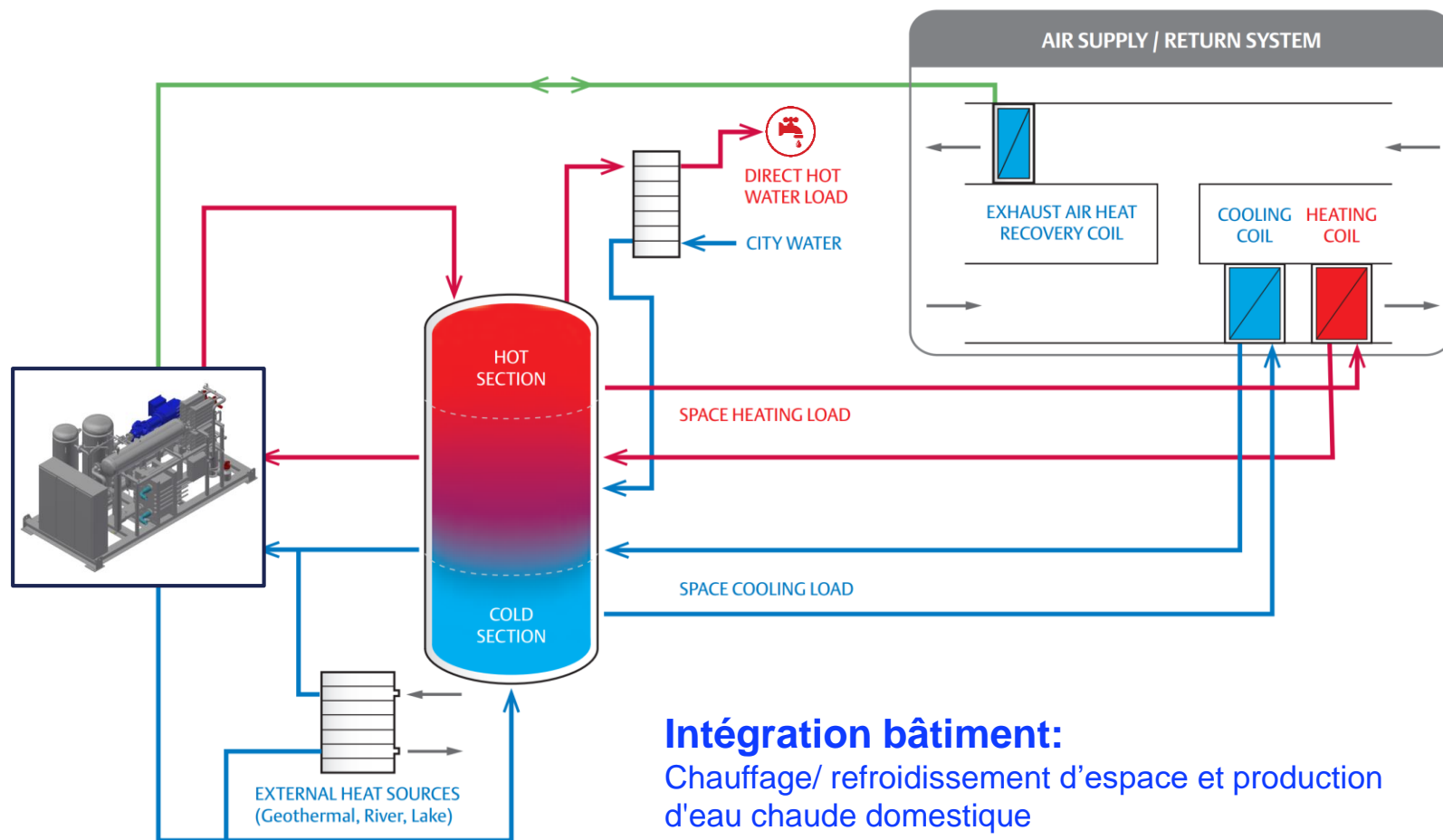
# TES: Connexions tuyauterie hydraulique et modes d'opération





# Chauffage et refroidissement simultanés à haute efficacité

Conçu pour les applications de CVAC, de chauffage à distance et de procédés industriels



**Intégration bâtiment:**  
Chauffage/ refroidissement d'espace et production d'eau chaude domestique

## Conception thermique durable

### Solution intégrée:

- Le système de pompe à chaleur rehausse l'énergie thermique depuis une source de chaleur et la transfère à un réservoir de stockage d'eau stratifiée pour une utilisation dans les applications d'eau chaude domestique, de chauffage et d'eau glacée

### Sources de chaleur:

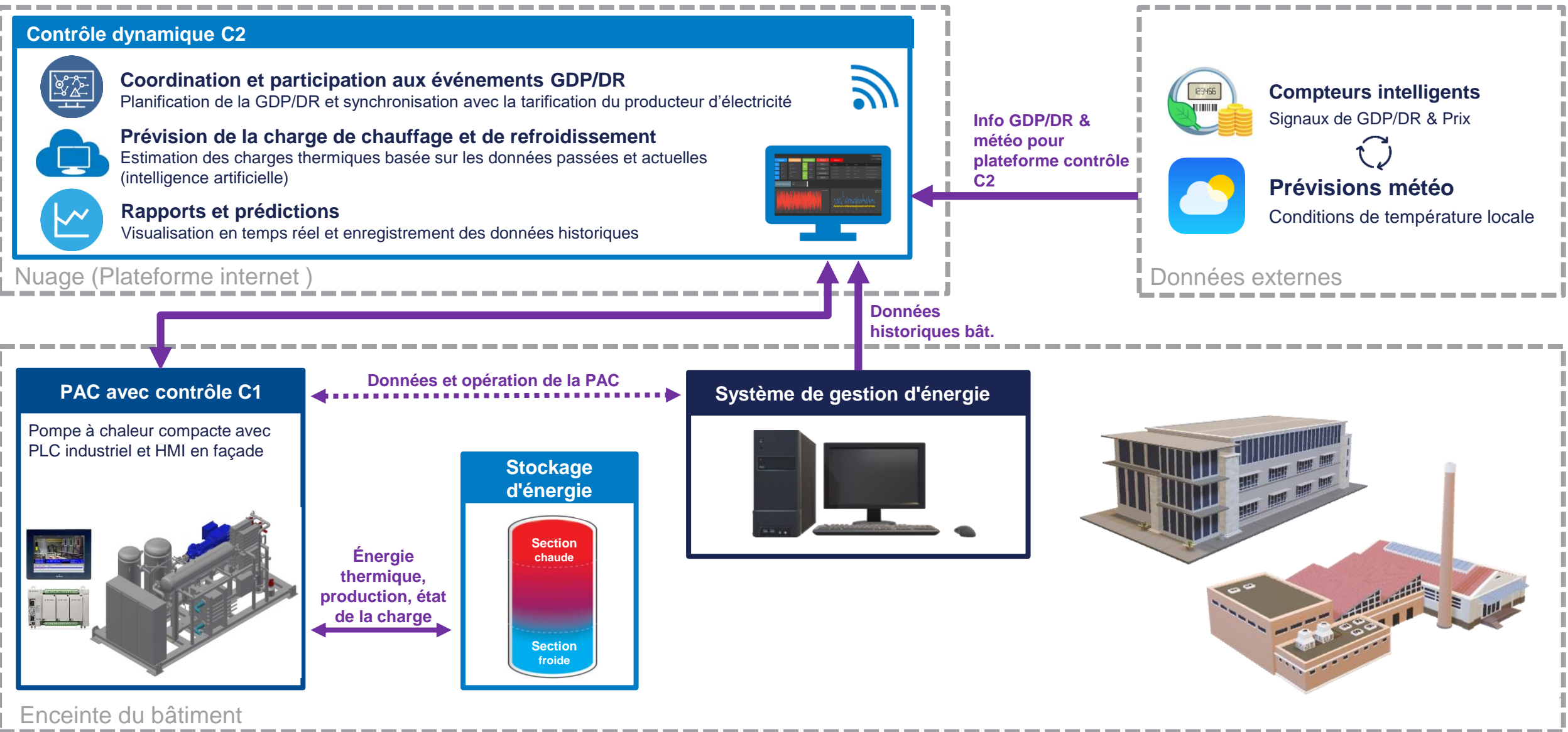
- Air, eau, sol (géothermique)
- Charge de refroidissement
- Air vicié
- Salles serveurs et transformateurs
- Tours d'eau
- Récupération de chaleur

### Réjection de chaleur:

- Chauffage d'espace
- Eau chaude domestique
- Humidification
- Fonte de neige
- Chauffage air frais
- Chauffage à distance

# Interaction avec le système de gestion d'énergie (EMS)

La plateforme de contrôle dynamique permet la participation aux événements de GDP/DR





**Questions?**

