

A composite image featuring a factory on the left, two wind turbines in the center, a snow-capped mountain in the background, and a winding road next to a rocky river in the foreground. The entire scene is overlaid with a semi-transparent grid pattern.

NOUVEAUTÉS DANS LE MONDE DES POMPES À CHALEUR

Philippe Simard, ing.
29 novembre 2023

1. NOUVEAUTÉS DANS LES RÉFRIGÉRANTS



NOUVEAUX RÉFRIGÉRANTS

- Besoin de développer de nouvelles molécules qui:
 - N'ont pas d'effet sur la couche d'ozone (chlore)
 - Minimisent l'effet sur le climat
 - Sans autre impact négatif sur l'environnement!
- Nouvelle catégorie de molécules: HFO (hydrofluoroléfine)
 - 4e génération de réfrigérants
- Problème:
 - Ils sont légèrement inflammables (A2L)
- Solution:
 - Les mélanger à un ininflammable pour les rendre A1



PRINCIPAUX MÉLANGES

Série 400: mélanges zéotropes

- Liquide et gaz **n'ont pas** la même composition à la même pression
- Glissement de température
- Exemple: R-410a
- 2023: demande faite pour R-499
 - Bientôt: R4000

Série 500: mélanges azéotropes

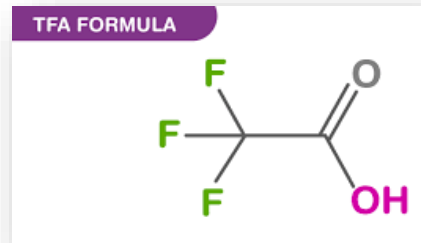
- Liquide et gaz **ont** la même composition à la même pression
- Pas de glissement de température
- Exemple: R-513a, R-515b



AUTRE PROBLÈME AVEC LES HFO (ET HFC)

■ Dégradation des réfrigérants fluorés produit des TFA

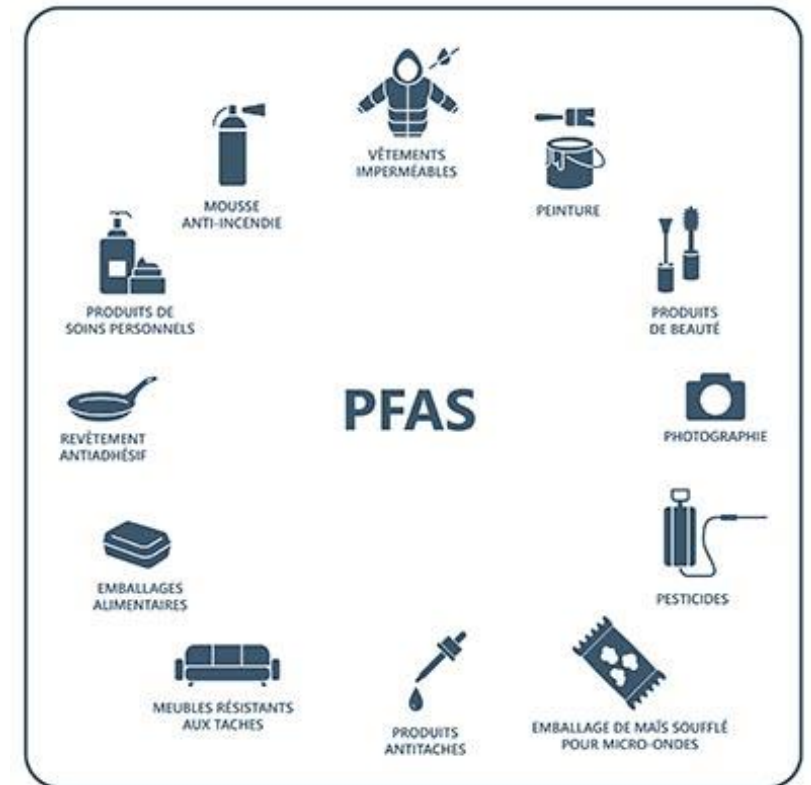
- TFA: acide trifluoroacétique.



■ Considéré comme un PFAS par l'OCDE

- Caractérisés par un lien carbone-fluor fort: résistants à la chaleur, eau et huile
- Solubles dans l'eau et les graisses (amphiphile)

■ Surnom: contaminants éternels (« forever chemical »)

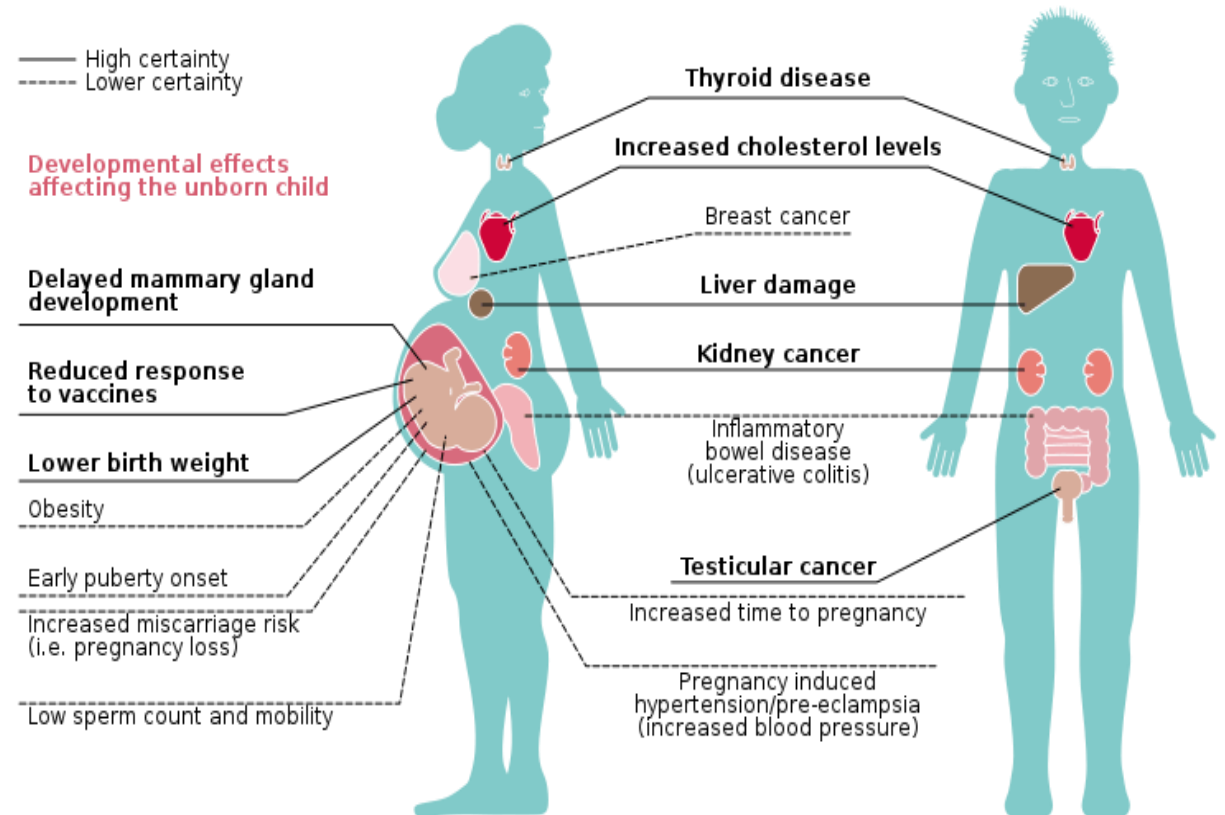


Source de l'image:

[PFAS : définition et utilisation | Institut national de santé publique du Québec \(inspq.qc.ca\)](https://www.inspq.gc.ca/fr/contaminants-organiques-persistants/les-pfas)

PRÉOCCUPATIONS POUR LES PFAS

- Persistants dans l'environnement
- S'accumulent dans la chaîne alimentaire
- Liés à certains problèmes de santé tels que: cancer, maladies reliées à la thyroïde, problèmes développementaux
- Certains pays européens veulent les bannir
- Pas de produits de remplacement pour plusieurs substances (lubrifiants, joints d'étanchéité, etc.)



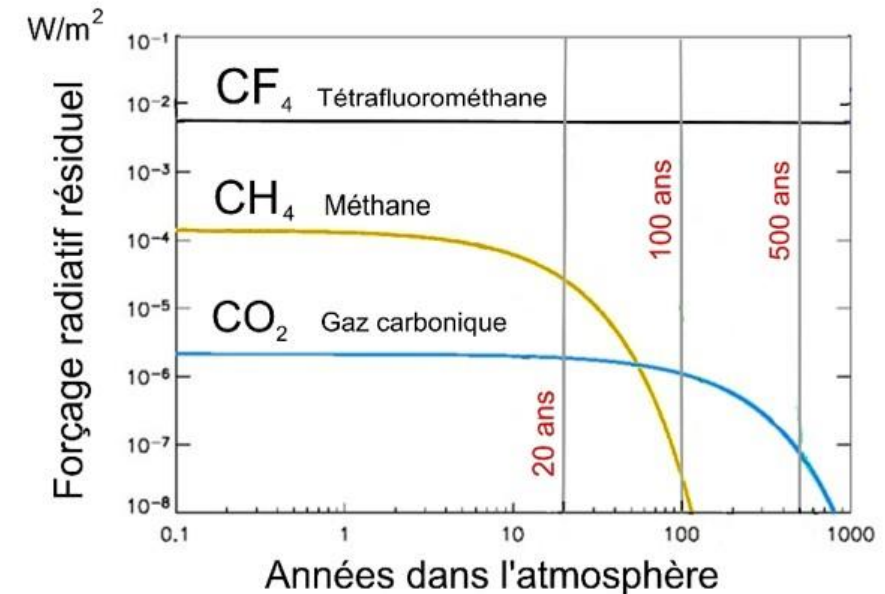
Source de l'image:

[PFAS evidence piles up, puts polluters on notice | NC Health News \(northcarolinahealthnews.org\)](https://www.northcarolinahealthnews.org/pfas-evidence-piles-up-puts-polluters-on-notice/)

PRG ET DURÉE DE VIE ATMOSPHERIQUE

- Le PRG est calculé sur une période de 100 ans (UNEP)
- Plusieurs réfrigérants ont une durée de vie < 100 ans
- R32: se dégrade dans l'atmosphère en 5.4 ans
- Proposition de calculer le PRG sur 20 ans au lieu de 100 ans

Concentration résiduelle d'un surplus de GES



Source : GIEC

Source: Impact of Refrigerants: Fact Sheet #1, ATMOSphere

Source de l'image:

[Fichier:Pouvoir de réchauffement Global \(PRG\) - comparateur des GES pour une mise à niveau global d'une unité de CO2équivalent.jpg — Le wiki du climat \(climatefresk.org\)](#)

PRG ET DURÉE DE VIE ATMOSPHÉRIQUE

Réfrigérant	PRG-100	PRG-20	ASHRAE
HFC-410a	2285	4705	A1
HFC-134a	1470	4060	A1
HFC-32	675	2530	A2L
R-513a	647	1788	A1
R-515a	611	1686	A1
R-450a	618	1708	A1
HFO-1234ze(E)	6		A2L
HFO-1234yf	1	5	A2L
R-600a	<1	<1	A3
R-290	<1	<1	A3
R-744	1	1	A1
R-717	0	0	B2L

Source: 2022 Report Of The Refrigeration, Air Conditioning And Heat Pumps Technical Options Committee, 2022 Assessment, Unep

CALENDRIER DE RÉDUCTION DES GES

Refroidisseurs

	Québec	Canada	USA	UE
Date	2025	2025	2025	2027
PRG	750	750	700	750

Sources:

- Règlement sur les halocarbures, Loi sur la qualité de l'environnement, Québec, 2023
- Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone et les halocarbures de remplacement, Loi canadienne sur la protection de l'environnement, 2023
- Final Rule - Phasedown of Hydrofluorocarbons: Restrictions on the Use of Certain Hydrofluorocarbons under Subsection (i) of the American Innovation and Manufacturing Act of 2020, EPA, Octobre 2023

CALENDRIER DE RÉDUCTION DES GES

Pompes à chaleur

	Québec	Canada	USA	UE
Date	2021	?	2025	2029
PRG	1500	?	700	750

Sources:

- Règlement sur les halocarbures, Loi sur la qualité de l'environnement, Québec, 2023
- Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone et les halocarbures de remplacement, Loi canadienne sur la protection de l'environnement, 2023
- Final Rule - Phasedown of Hydrofluorocarbons: Restrictions on the Use of Certain Hydrofluorocarbons under Subsection (i) of the American Innovation and Manufacturing Act of 2020, EPA, Octobre 2023

RÉFRIGÉRANTS: CONCLUSION

- 4^e génération de molécules
- Certains mélanges ont un effet non négligeable sur le climat
- Dégradation dans l'atmosphère en contaminants éternels
- On doit apprendre à travailler avec les réfrigérants inflammables (A2L, A3)
- Réfrigérants naturels
 - CO₂, propane/isobutane, ammoniac, ...
 - Solution à long terme
 - Ne sont pas visés par un calendrier de réduction

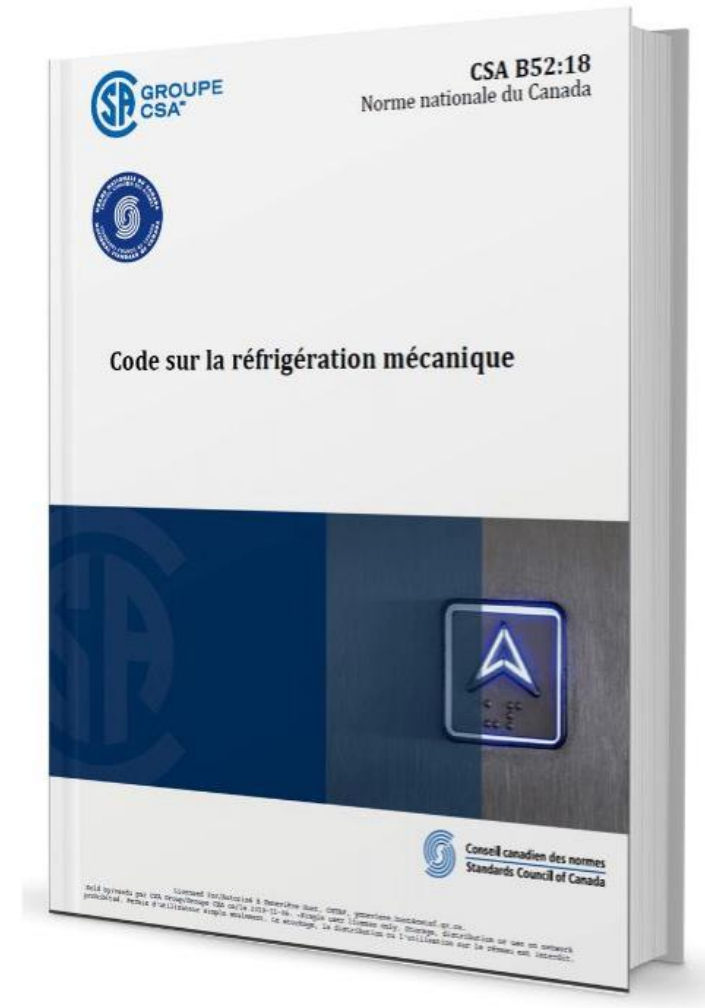


2. NOUVEAUTÉS DANS LE CODE CSA B52



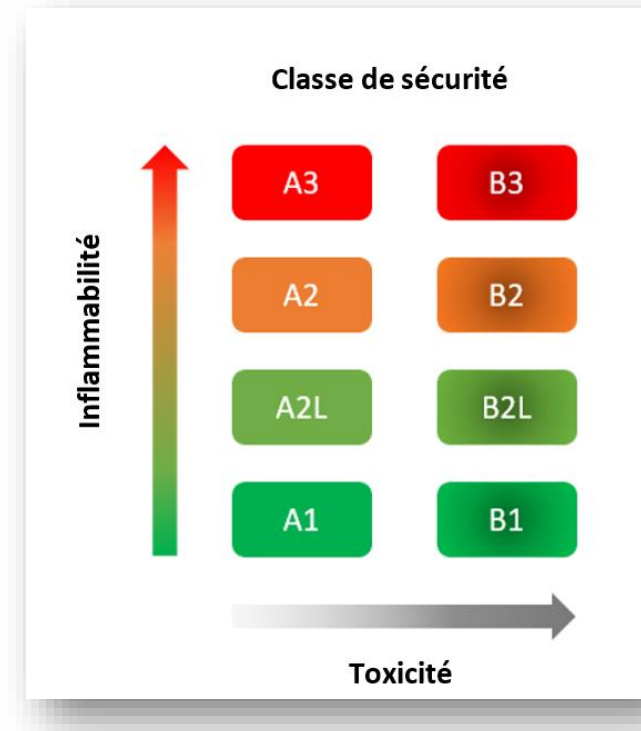
ÉCHÉANCIER

- Août 2023:
 - Revue publique
- Nov 2023:
 - Scrutin pour l'adoption de la nouvelle version par les membres ayant droit de vote
 - Revue qualité par CSA
- Dec. 2023:
 - Réaffirmation par les membres de la version 2018
- Dec 2023 / Jan 2024:
 - Nouvelle version du code



PRINCIPAUX CHANGEMENTS

- Air conditionné dans les résidences privées: sera dorénavant couvert par le B52
- Réfrigérants A2L
- Précisions sur les toits accessibles
- Procédure de démantèlement
- Exigences pour la détection de fuites de réfrigérant
- Tables de réfrigérants: référence ASHRAE 34
- Alignement avec ASHRAE 15-2022



RÉFRIGÉRANTS INFLAMMABLES

■ A3, B3:

- 150g et moins homologués: permis
- Limite basée sur la limite inférieure d'inflammabilité
- Charge totale maximum dans l'espace (nombre d'unités)

■ A2L:

- Limite basée sur la limite inférieure d'inflammabilité
- Exclusions pour:
 - occupation industrielle
 - local technique
 - certains laboratoires



Note: ne constitue pas une interprétation ni un résumé complet de la prochaine édition CSA B52-2023 (ou B52-2024).

3. ANNEXE 60 DE L'AIE HPT

RÉNOVATION AVEC POMPES À CHALEUR DANS LES GRANDS BÂTIMENTS NON DOMESTIQUES



CONTEXTE

- Bâtiments non domestiques: 30% de la contribution des GES (R-U)
- Difficiles à aborder:
 - Formes, tailles et fonctions variées
 - Différentes sources d'énergie
 - Plusieurs options possibles de PAC
- Objectif: fournir des conseils simples aux décideurs pour identifier et évaluer les options de PAC
- Public cible:
 - Propriétaire et exploitants de bâtiments
 - Concepteurs de systèmes CVC
 - Décideurs politiques et leurs conseillers techniques
- [Home - Annex 60 \(heatpumpingtechnologies.org\)](http://heatpumpingtechnologies.org)

SOMMAIRE DE L'ANNEXE 60 DE L'AIE

Rénovation avec pompes à chaleur dans les grands bâtiments non domestiques

- Dates: sept. 2022 à déc. 2024
- Lead: Royaume-Uni
- Tâches:
 1. Revue littéraire
 2. Études de cas
 3. Développement d'un outil d'aide à la décision (arbre décisionnel)
 4. Rapport, publications
- Pays participants:
 - Autriche, Canada (RNCAN, Copeland), Italie, Pays-Bas, République d'Irlande, Royaume-Uni

RAPPORT D'ACTIVITÉ

1. Revue littéraire

- Options techniques bien comprises
- Implantation dans différentes situations (pays, climat, règlements, politiques) mal compris
- Peu d'analyses technicoéconomiques comparatives

2. Études de cas

- Pour illustrer l'application des différentes technologies de PAC dans différentes conditions
 - Seront publiés dans un « compendium » de référence (en ligne ou autre)
- Chaque pays doit proposer des études de cas
- Pour le Canada
 - Diversité de types de bâtiment, de technologies de PAC et de CVC, et de climat, etc.
 - 30-40 études de cas visées et de candidats identifiés
- Candidats ont commencé à être approchés directement
- Faites-nous signe si vous êtes intéressés!

4. ANNEXE 58 DE L'AIE HPT

POMPES À CHALEUR À HAUTE TEMPÉRATURE



CONTEXTE

- Europe 2015: 50% de l'énergie du secteur industriel est pour le chauffage et refroidissement de procédé
- 37% de l'énergie requise pour le chauffage de procédé < 200 °C
- Les 2/3 sont présentement comblés par les énergies fossiles
- Les PAC ont un avenir prometteur dans ce secteur

SOMMAIRE DE L'ANNEXE 58 DE L'AIE

- Pompes à chaleur haute température pour le domaine industriel
- Dates:
- Lead: Danemark
- Tâches:
 1. Revue littéraire
 2. Concepts: meilleures pratiques dans les secteurs prometteurs
 3. Applications: stratégies de conversion aux PACHT
 4. Spécifications: recommandations sur les spécifications des PACHT dans des projets réels
 5. Diffusion des résultats
- Pays participants:
 - Autriche, Belgique, Canada, Chine, Danemark, Finlande, France, Allemagne, Japon, Pays-Bas, Norvège, Corée du sud, Suisse, USA

5. LA DÉCARBONATION AVEC LES PAC HAUTE TEMPÉRATURE DANS LE DOMAINE COMMERCIAL

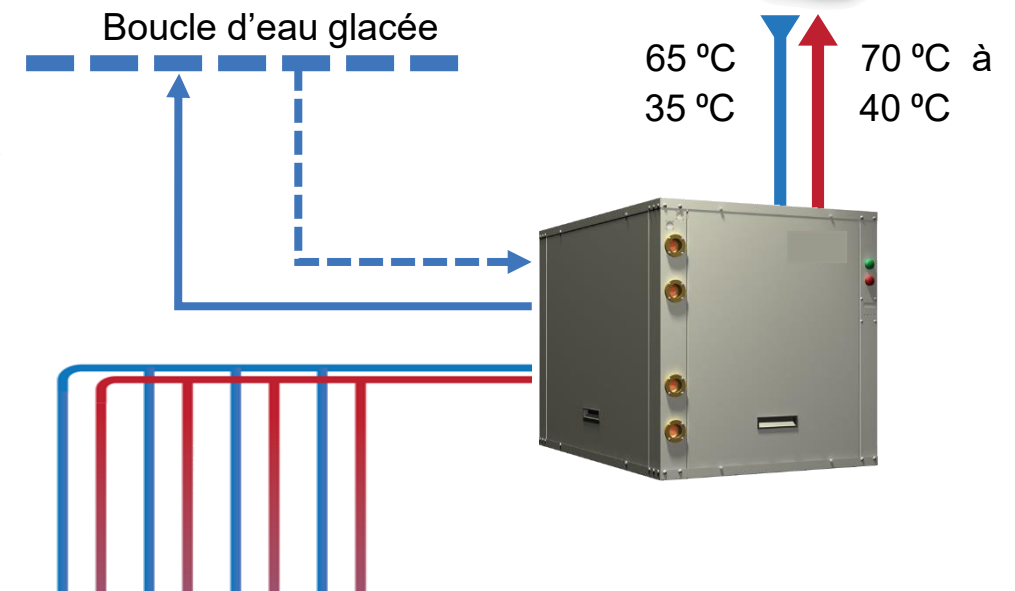


PRINCIPALE DIFFICULTÉ DES RÉNOVATIONS AVEC POMPES À CHALEUR

- Bâtiments CII généralement avec du chauffage hydronique conçu pour opérer à 80+ °C à charge maximale
- La plupart des produits disponibles en A-du-N
 - PAC utilisant du R410A
=> T_{charge} maximale de l'eau chaude ± 45 °C
 - PAC et refroidisseur RC utilisant du R134a
=> T_{charge} maximale de l'eau chaude $\pm 60-70$ °C
 - Limitation « essentiellement » due au choix du réfrigérant

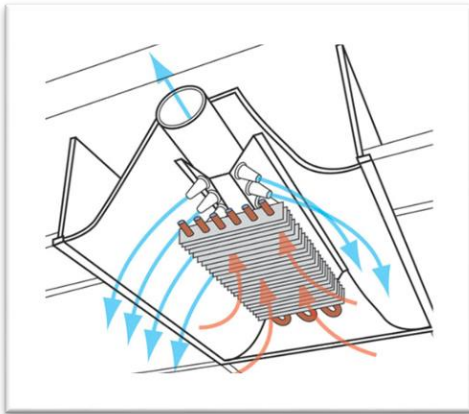


60 °C ↓ 80 °C



SOLUTION TYPIQUE EN RÉNOVATIONS AVEC DE L'EAU DE CHAUFFAGE À 40 °C

- Plus grande disponibilité de produits mais difficile à marier aux systèmes de CVC existants; modifications importantes requises (\$\$\$)
 - « Rénovations majeures » souvent requises, avec d'importants dérangements à l'opération
 - Sinon, portées/applications/bénéfices réduits si on limite les coûts ou les dérangements



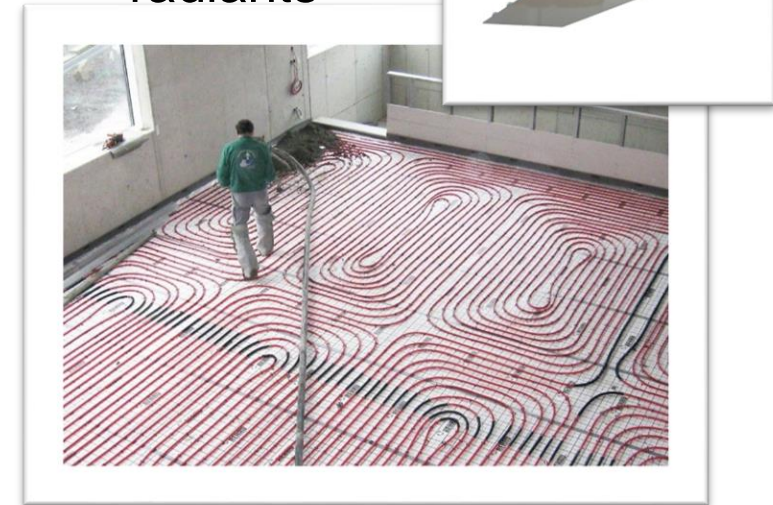
Poutres froides actives

Serpentins pour le chauffage de l'air



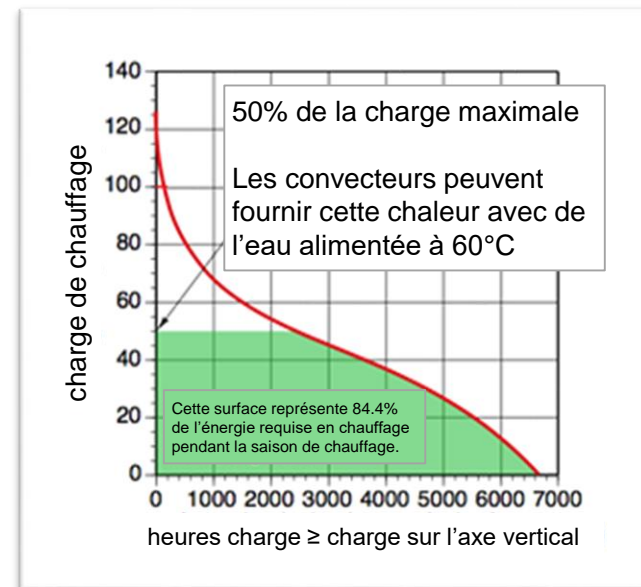
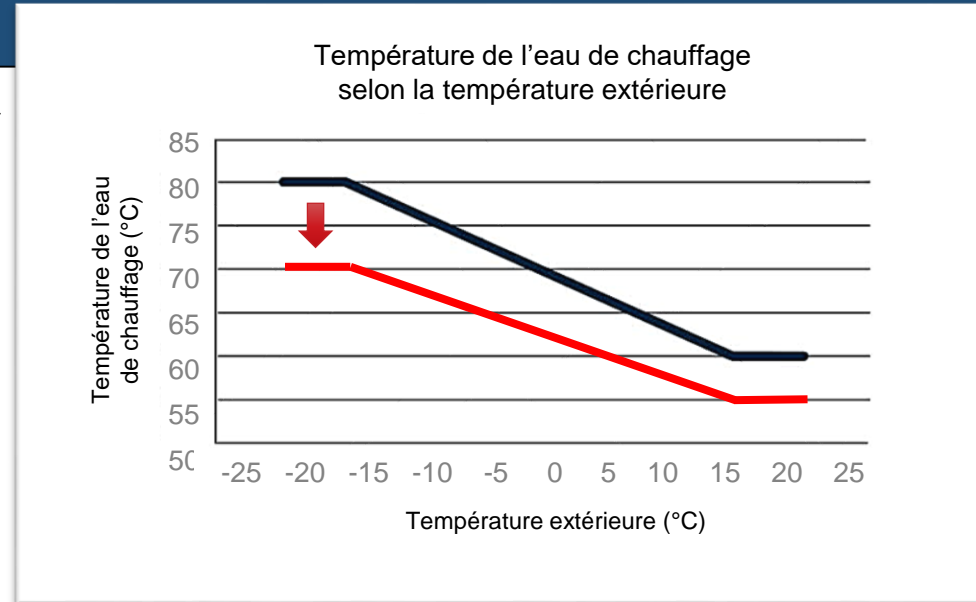
Radiateurs et convecteurs à basse température

Panneaux et planchers radiants



SOLUTION TYPIQUE EN RÉNOVATIONS AVEC DE L'EAU DE CHAUFFAGE À 60-70 °C

- Moins de modèles disponibles, mais travaux plus « simples »
- Là où la température de l'eau de chauffage est ajustée selon la température extérieure, des économies importantes sont possibles:
 - Beaucoup d'heures à faible charge de chauffage
 - Au pire, préchauffage du retour d'eau de chauffage
- Considérer des améliorations mineures à l'enveloppe
 - Par exemple:
 - Remplacement des fenêtres
 - Travaux d'étanchéisation
 - Bénéfice: réduction de la charge de chauffage
 - **Abaissement** de la température de l'eau de chauffage
 - Opération accrue pendant l'hiver de la pompe à chaleur
- Réductions importantes de l'énergie et des émissions de GES (60%-80%)



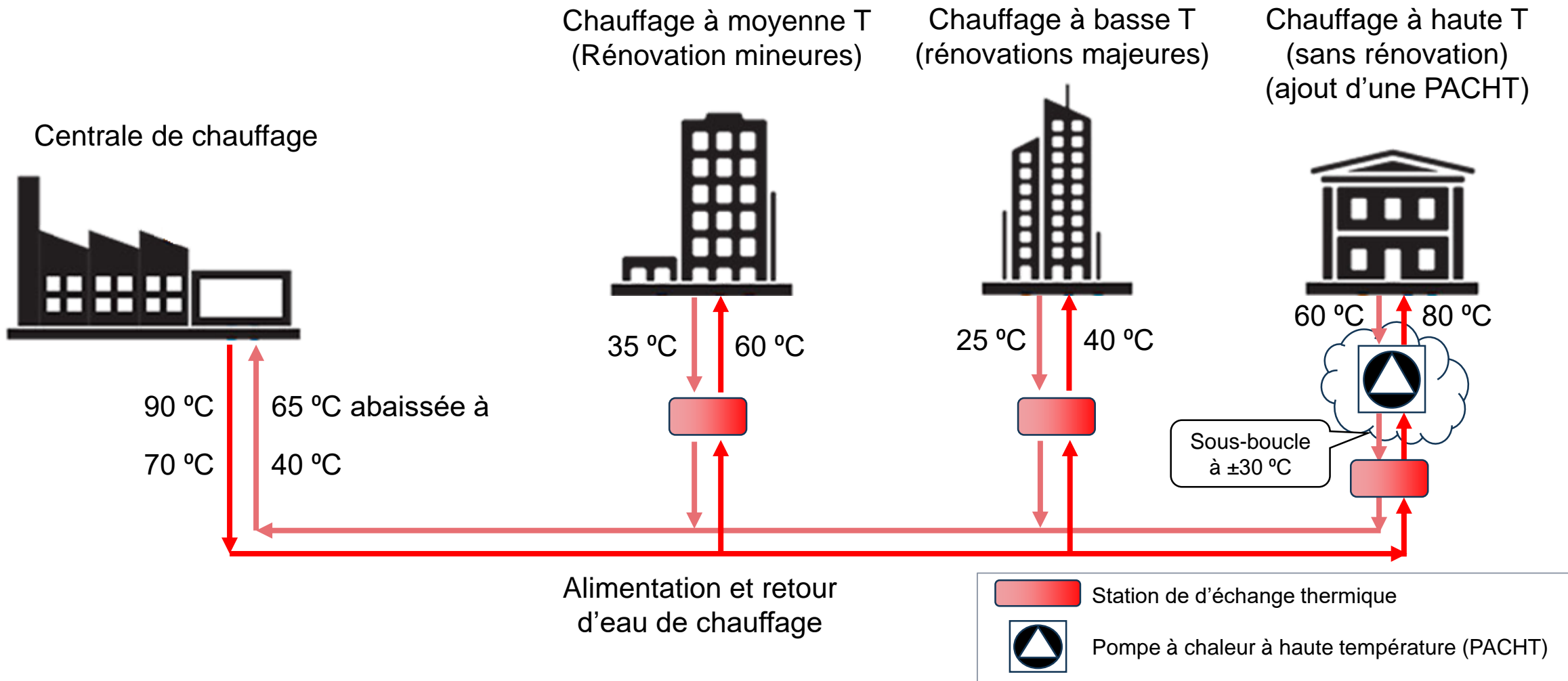
QUELLES ALTERNATIVES..?

- Et si il y avait des pompes à chaleur capables d'alimenter de l'eau de chauffage à 80+ °C?
 - Investissement plus élevée, mais moins de travaux de rénovations (possiblement aucun)?
 - COP plus faible, mais de combien?
 - Quelles applications?
 - D'autres impacts?
- Est-ce que les analyses techniques, énergétiques et économiques donneraient de bons résultats?



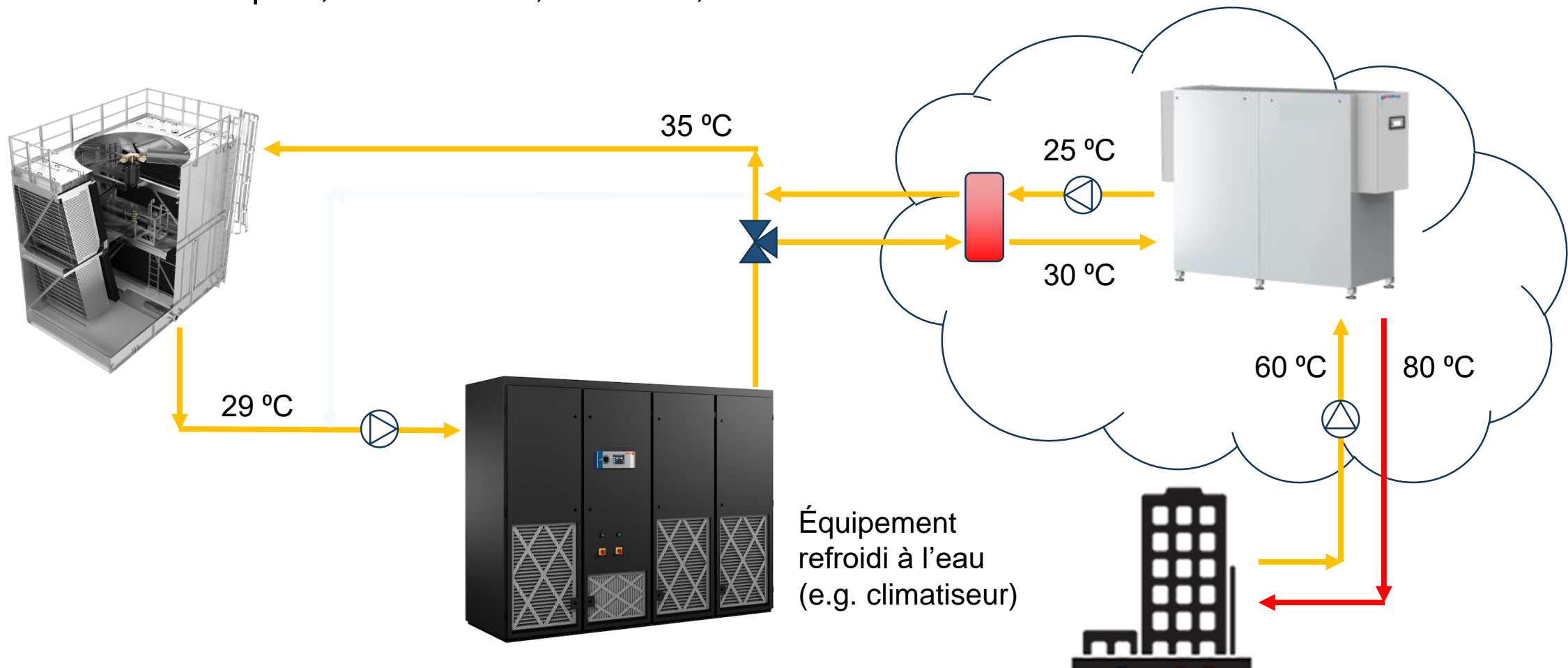
APPLICATION: RÉSEAUX D'ÉNERGIE URBAINS

- P.ex. Écologisation des REU et abaissement de la température du réseau



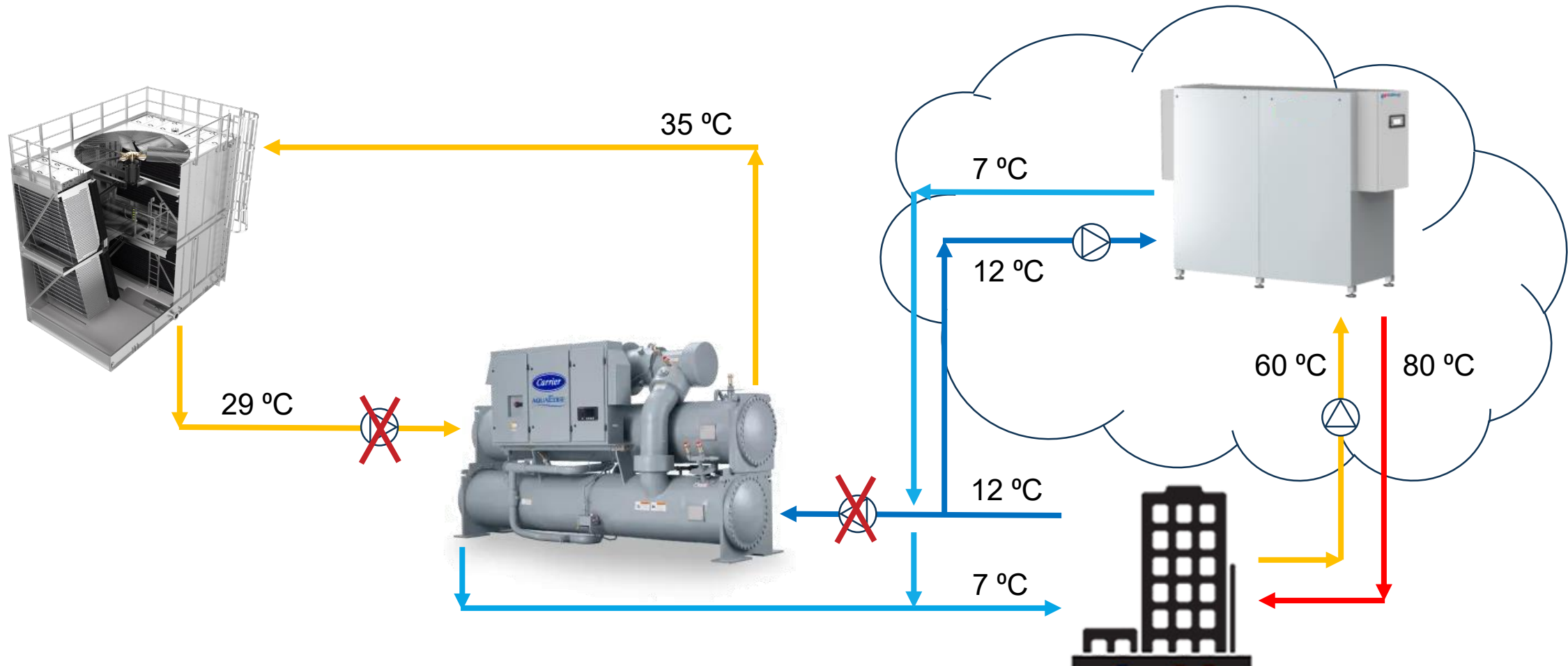
APPLICATION: RÉCUPÉRATION DE CHALEUR REJETÉE

- P.ex. Boucle de refroidissement de condenseurs salles informatiques, laboratoires, industrie, etc.



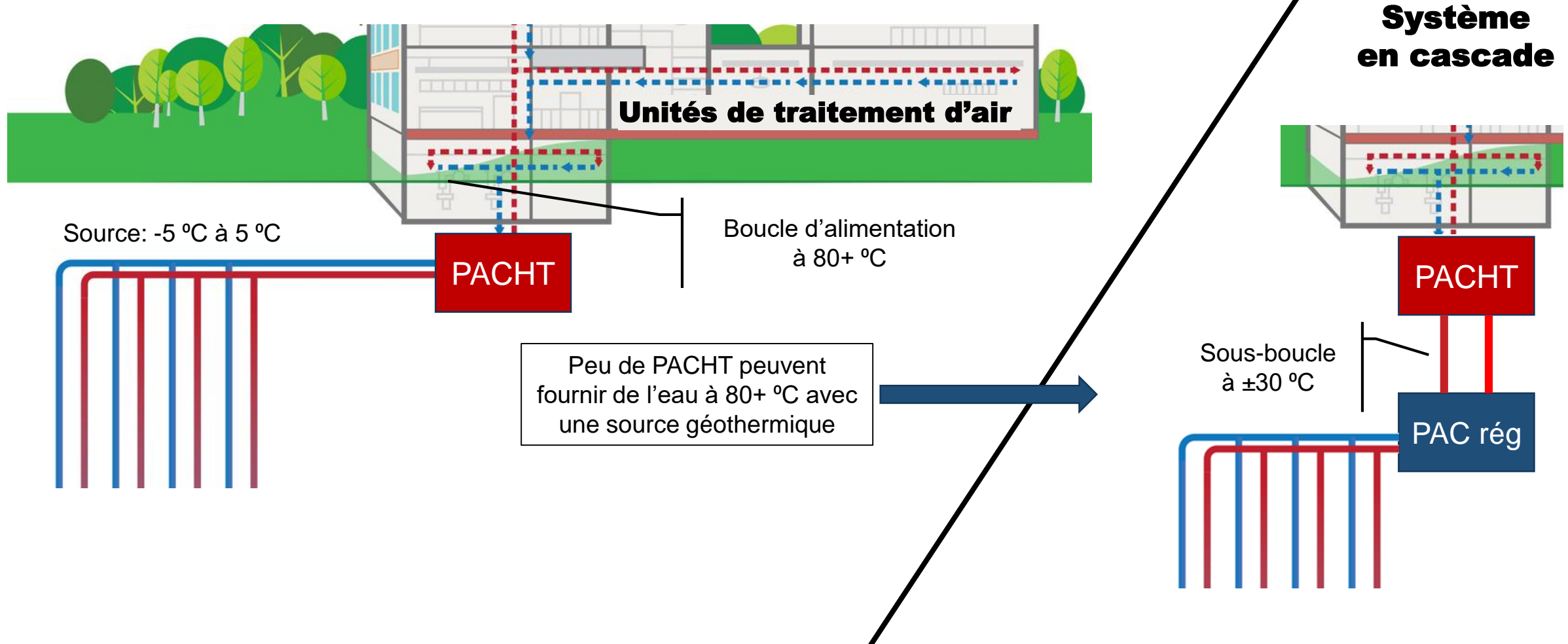
APPLICATION: CHAUFFAGE ET REFROIDISSEMENT SIMULTANÉS

- P.ex. Production d'eau de chauffage et d'eau glacée



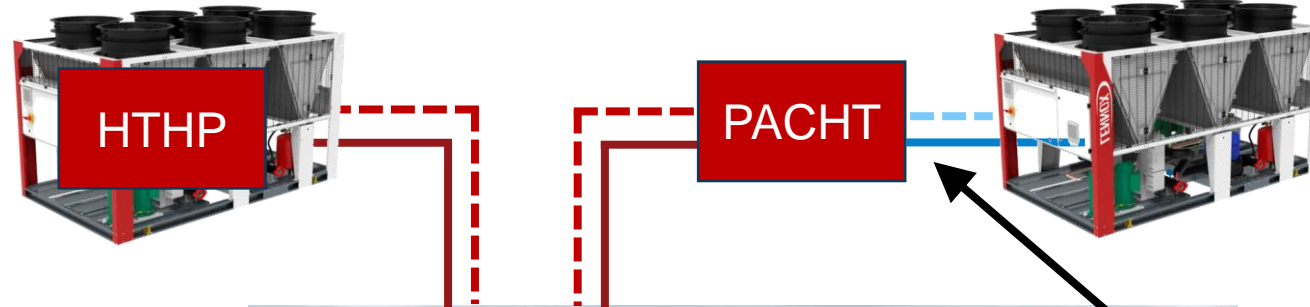
APPLICATION: SOURCE DE CHALEUR GÉOTHERMIQUE

- Échangeur couplé au sol, aquifère, eau de surface ou de mer



APPLICATION: POMPES À CHALEUR AIR-EAU

PACHT
air-eau



PACHT en cascade
avec PAC air-eau

Peu de modèles disponibles

Généralement $T_{\text{charge}} \leq 65 \text{ °C}$

Pas à climat froid

Pertes significatives de
capacité et de COP à basse
température extérieure



Sous-boucle à
 $\pm 30 \text{ °C}$ ou moins

Plus de modèles
disponibles

Capacité et COP plus
élevés des PAC air-eau

REVUE DES PRODUITS PACTH DISPONIBLES EN AMÉRIQUE DU NORD

Réfrigérant	R134a		R450A et autres		R515B et R1234ze		R514A et R1234zd		R1234ze	
Compresseur	Volute		Piston		Piston		Centrifuge		Centrifuge ou vis	
T minimale de la source	5 °C		-15 °C		±0 °C (à confirmer)		30 °C		0 °C	
T maximale de la charge	80 °C		98 °C		88 °C		82 °C		93 °C	
COP	3.16 à 4.31		2.45 à 3.05		1.85 à 3.36		???		???	
Capacité (kW _{th})	65	254	30	1675	95	190	6 000	10 000	1 000	6 000
Coûts (\$ 2022 / kW _{th})	500	300	1500	250	1500	750	???			
Notes	Réfrigérant HFC		Modulaire, plusieurs choix de réfrigérant et de performance		Un seul choix de capacité, modulaire, manufacturier canadien		Nouvellement annoncé, conçu comme un refroidisseur		Nouvellement annoncé, conçu comme un refroidisseur	

Information montrée à titre indicatif seulement; performance et coûts influencés par les caractéristiques de l'équipement et les conditions d'opération

REVUE DES PRODUITS PACTH DISPONIBLES AMÉRIQUE DU NORD

Réfrigérant	R515B et R1234ze		R600a (isobutane)		R717 (ammoniac)		R600a (isobutane)
Compresseur	Vis		Vis		Vis		Turbocompresseur
T minimale de la source	20 °C		-7 °C		-10 °C		10 °C
T maximale de la charge	82 °C		116 °C		90 °C		90 °C
COP	3 à 4		2.23 à ???		2.8 à 5.0		2.72
Capacité (kW _{th})	150	800	3.5	2500	1000	5000	5000
Coûts (\$ 2022 / kW _{th})	1300	800	1500	700	1200	500	1000
Notes	Produit industriel, conçu sur mesure, manufacturier canadien		Réfrigérant A3, produit industriel, conçu sur mesure		Réfrigérant B2L, produit industriel, conçu sur mesure		Réfrigérant A3, produit industriel, conçu sur mesure

Information montrée à titre indicatif seulement; performance et coûts influencés par les caractéristiques de l'équipement et les conditions d'opération

ÉTUDES DE FAISABILITÉ SUR LES PAC HT

- 3 études sur l'implantation de PACHT réalisées pour des bâtiments fédéraux
 - 4+ à venir
- Résultats préliminaires:
 - L'approche permet de réduire
 - L'effort de conception
 - La durée des travaux
 - Les coûts initiaux
 - Les dérangements causés par ceux-ci sur un bâtiment existant et occupés
 - Réduction de la consommation d'énergie (et GES) si la source thermique est gratuite (par ex.: géothermie)
 - Les VAN sur 30-40 ans montrent des coûts comparables aux solutions traditionnelles.
 - Les coûts associés aux dérangements dus aux travaux n'est pas pris en compte dans cette analyse

6. ACTIVITÉS DE RECHERCHE CanmetÉNERGIE-VARENNES



ACTIVITIÉS DE RNCAN SUR LES PACHT

1. Essais de produits commerciaux

- Un essai réalisé: validation de la performance sur un banc d'essai pleinement dimensionné
- Ensuite: Installation et démonstration dans un bâtiment de RNCan (en 2023-24)
 - Application en récupération de chaleur
- Actuellement en planification d'un autre essai similaire suivi d'une démonstration

2. Réalisation d'études de faisabilités

- Comparaison entre des PAC régulières (avec rénovations) et PACHT (sans rénovation) (coûts et énergie)
- À venir:
 - Un bâtiment scientifique (utilisant de l'eau de surface) et divers édifices de bureaux
- Si vous êtes intéressés par une telle étude ou il y a une opportunité, contactez-nous

3. Développement d'un outil d'évaluation (« HPTool »)

- Avec modélisation de bâtiment pour évaluer les économies d'énergie et les impacts sur les coûts pour différentes applications
- Prévu pour diffusion en 2025-26

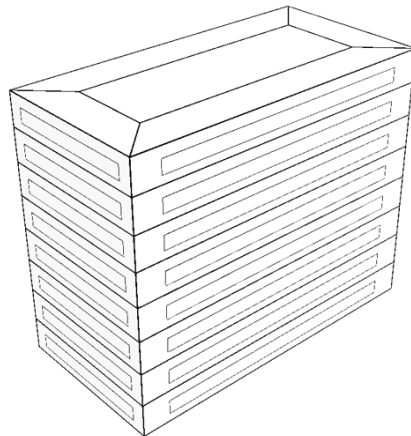
APERÇU DE HPTOOL

- Outil de modélisation simplifié
- Archétypes « les plus utiles » pour le GdC
- Chauffage et refroidissement hydronique seulement



Existing Building Loads

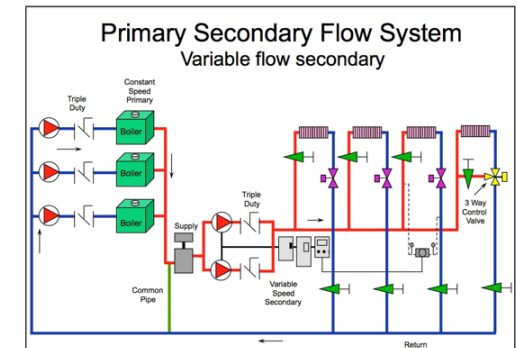
Simulation Parameter		
Simulation Start	0	h
Simulation End	8760	h
Climate		
Soil Data	Vancouver, BC	-
Province	British Columbia	-
City	VANCOUVER INTL A	-
Orientation	0	degree
Geometry		
Total Building Area	3350	m ²
Number of Floor	5	-
Avg. Building Ratio	1/2	-
Avg. Windows to Wall Ratio	35	%
Avg. Floor height	3,65	m
Perimeter Zone Depth	3,65	m
Envelope		
Opaque Envelope		
Avg. R-Value Exterior Walls	4	m ² -K/W
Avg. R-Value Roofs	10	m ² -K/W
Windows		
Avg. U-Value COG Windows	1,9	W/m ² -K
Avg. U-Value Frame Windows	6,516	W/m ² -K
Avg. SHGC Windows	0,3828	-
Internal Gain		



Existing Water-Side HVAC

Hot Water (HW)

Plant		
Plant Design	Automatic	-
Type of Boiler(s)	Electric boiler(s)	-
Number of Boiler(s)	1	-
Total Boiler(s) Capacity	2	KW
Boiler(s) Efficiency	100	%Et
Oversize Ratio	20	%
Loop		
Loop Design	Automatic	-
Design HW supply temp.	180	°C
Design HW ΔT	16	°C
HW supply temp. Control	Fixed	-
Supply Temp. Setpoint	82	°C
OA Low Temperature	-16	°C
OA High Temperature	0	°C
Supply Temp. @ OA Low	82	°C
Supply Temp. @ OA High	60	°C
Equipment Control Sequences	80	%PLR
Primary Pump Flow	4	l/s
Primary Pump Power	19	W/GPM
Primary Pump Control	Riding the Pump Curve	-
Secondary Pump Flow	0	l/s
Secondary Pump Power	0	W/GPM
Secondary Pump Control	Riding the Pump Curve	-

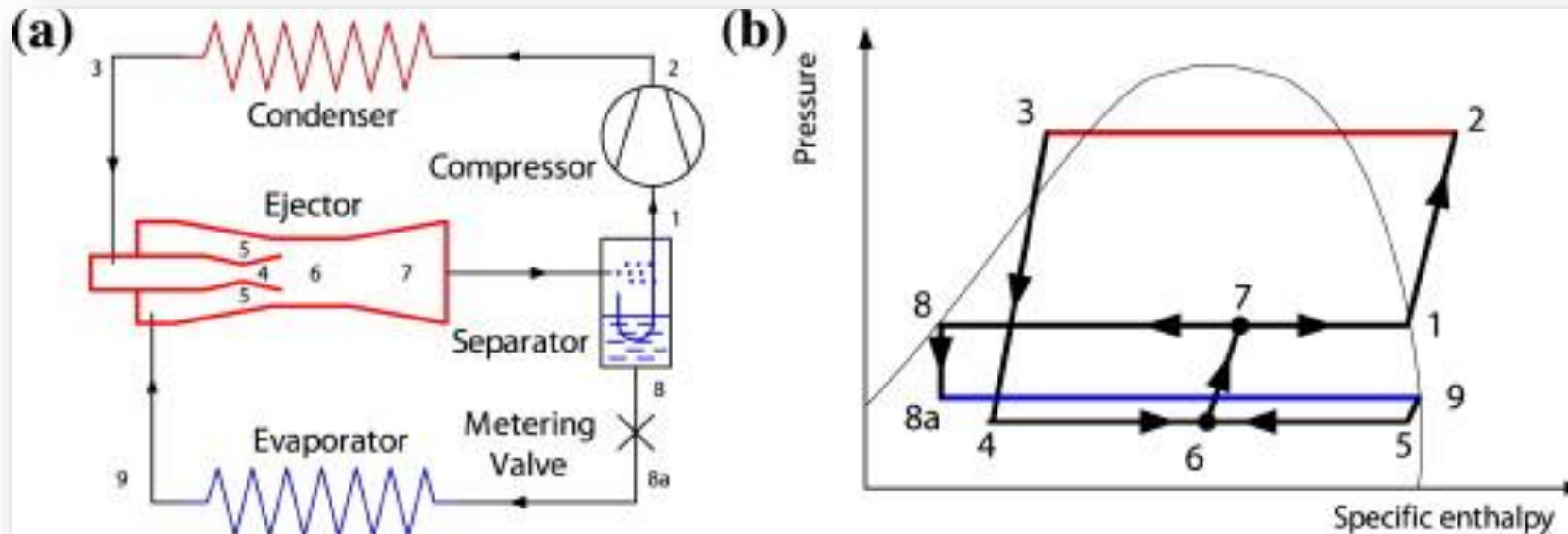


- Comparaison de:
 - Pompes à chaleur conventionnelles
 - Pompes à chaleur à haute température
 - GES, énergie, coûts de l'énergie et des travaux

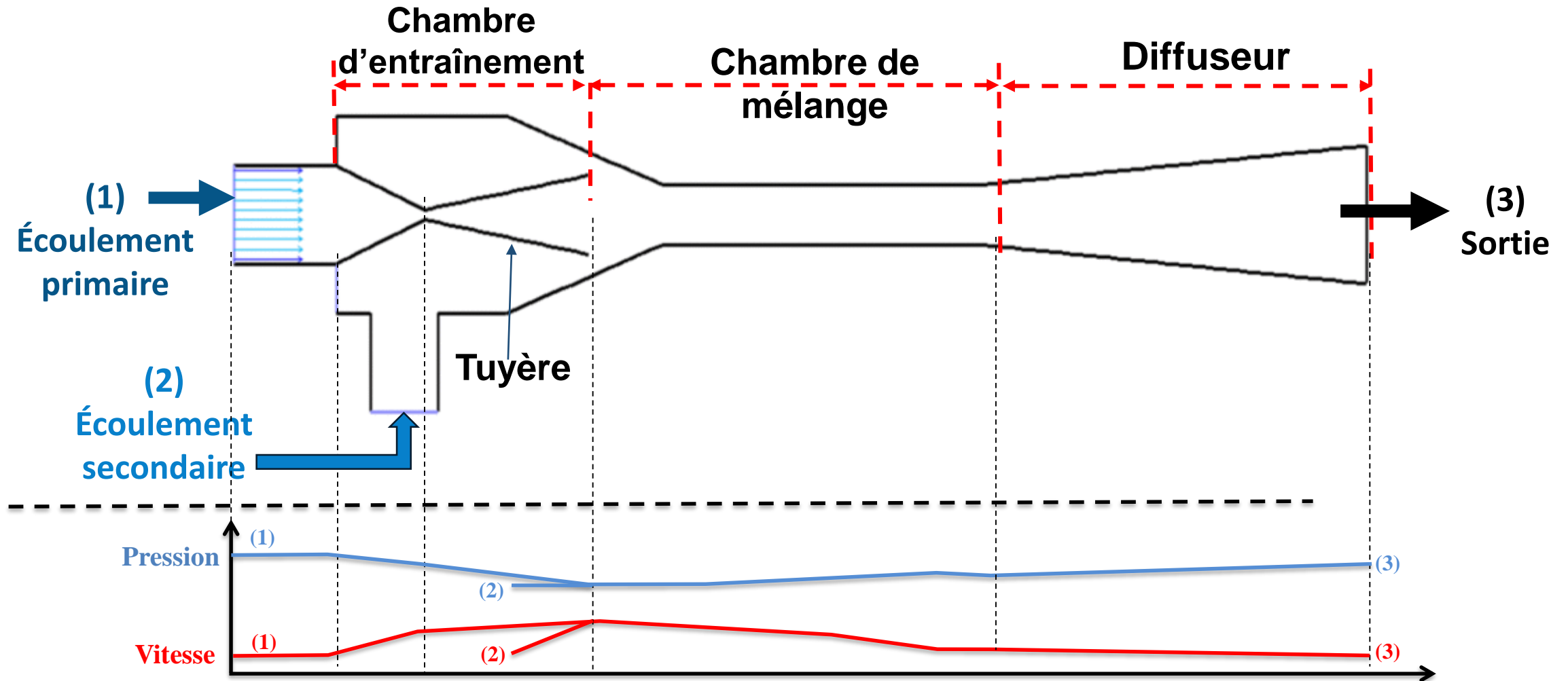
POMPE À CHALEUR CO₂ ET ÉJECTEUR

Objectifs:

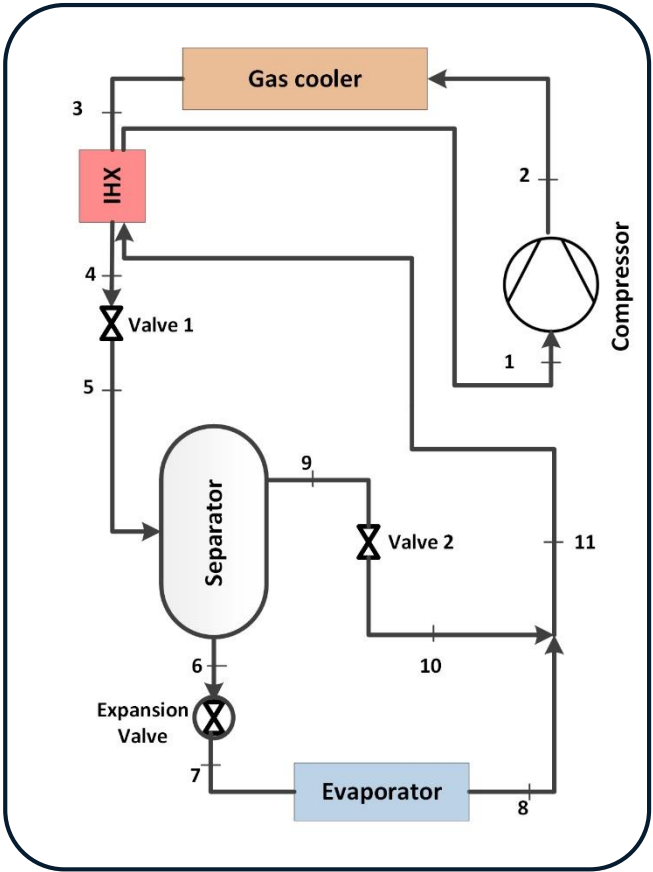
- Utilisation d'un réfrigérant à faible PRG (CO₂ = 1)
- Amélioration de la performance avec un éjecteur
- Élargir l'enveloppe de fonctionnement du compresseur



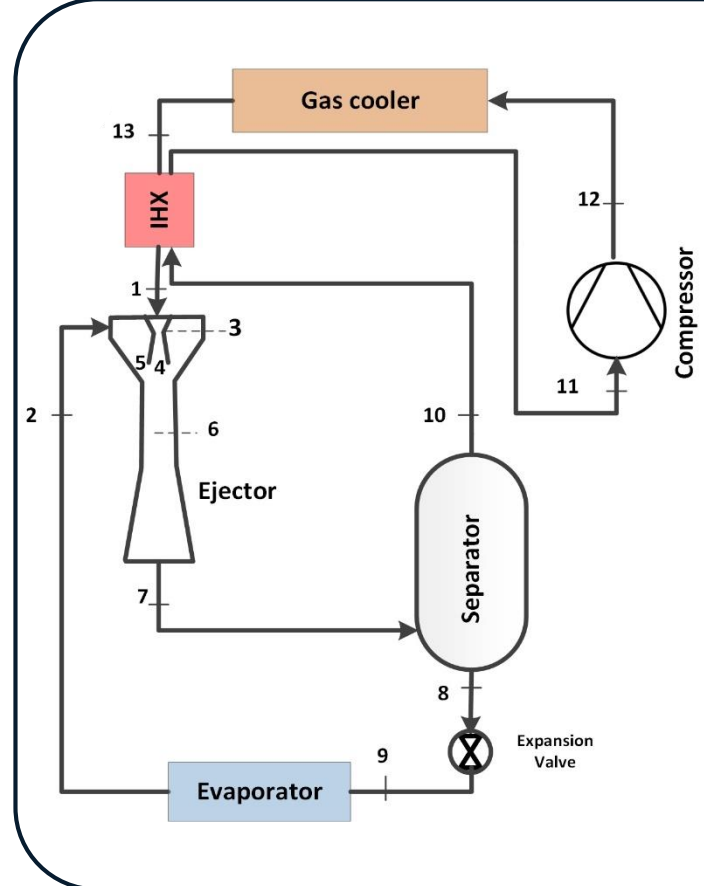
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN ÉJECTEUR



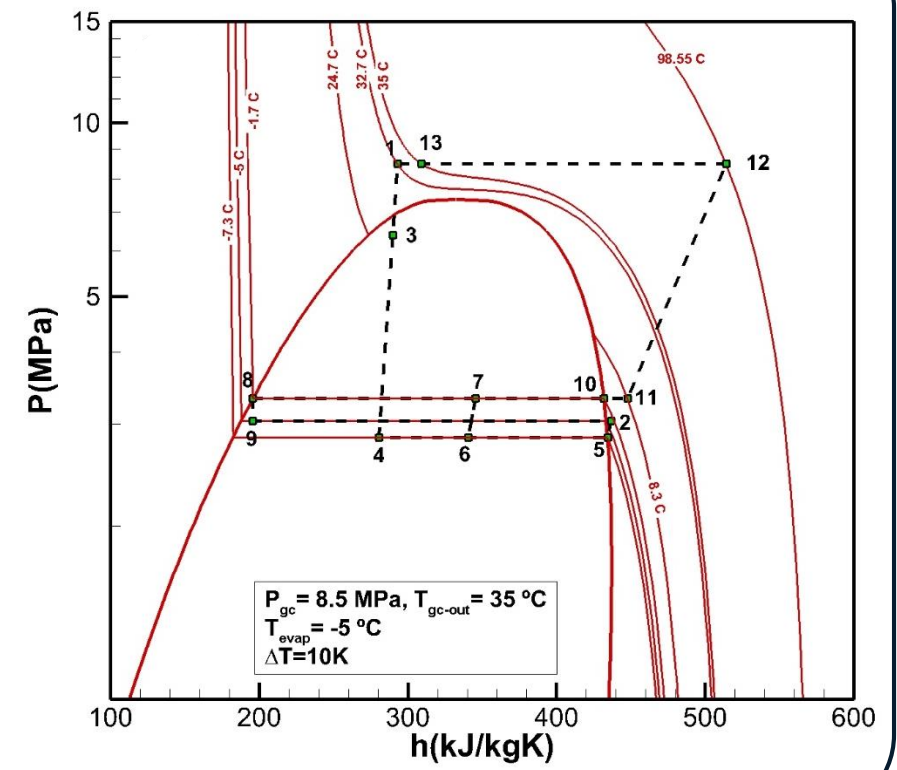
POMPE À CHALEUR CO₂ ET ÉJECTEUR



Cycle conventionnel au CO₂ transcritique



Cycle avec éjecteur-détendeur au CO₂ transcritique



POMPE À CHALEUR CO2 ET ÉJECTEUR



RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

- Confirmer différentes approches de conception de l'éjecteur:
 - Modèles CFD
 - Forme de la tuyère primaire
 - Position de la tuyère primaire
 - Autres paramètres géométriques
- Valeurs mesurées (au point de conception)
 - Augmentation 15-18% COP
 - Augmentation 16-20% puissance de chauffage



Coordonnées :
philippe.simard@nrcan-rncan.gc.ca
Ingénieur de recherche
Groupe bâtiment
Secteur des technologies de l'énergie
Ressources naturelles Canada |
Gouvernement du Canada



1615 boul. Lionel-Boulet
Varenes (QC) J3X 1P7
Téléphone: +1.450.652.4621
canmetenergy@nrcan.gc.ca



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada 

MERCI!



QUESTIONS?



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada

Canada 

© Sa Majesté le roi du chef du Canada, représenté par le ministre des Ressources naturelles Canada, 2023