



Les pompes à chaleur au CO₂ pour le chauffage des bâtiments commerciaux et institutionnels

Philippe Simard, ing., M. Sc. A.

3 juin 2021

Conférencier



Philippe Simard, ing. M. Sc. A



Axes de recherche du conférencier

- Pompes à chaleur au CO₂
- Pompes à chaleur haute température (>70 °C)
- Systèmes de réfrigération
- Éjecteurs



CanmetÉNERGIE à Varennes

NOS DOMAINES DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INDUSTRIE

 **3 M\$**

 **38 employés**



- Procédés écoefficaces pour une décarbonisation profonde du secteur industriel
- Bioraffinage et bioéconomie
- Intelligence artificielle pour des procédés industriels écoénergétiques
- Cours techniques, outils et soutien pour les professionnels et les universités dans le domaine de l'optimisation énergétique et de l'analyse de données

INTÉGRATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

 **3,5 M\$**  **30 employés**

- Évaluation des systèmes PV et développement des technologies
- Réseaux intelligents et microréseaux pour les systèmes électriques résilients
- Villes et communautés intelligentes
- Transition vers une intégration élevée des énergies renouvelables au réseau

BÂTIMENTS

 **4,3 M\$**  **32 employés**

- Systèmes de chauffage et de refroidissement renouvelables
- Exploitation optimale des bâtiments
- Expertise technique en soutien à l'Écologisation des opérations du gouvernement fédéral
- Systèmes d'énergie pour les infrastructures nordiques et éloignées

RETScreen INTERNATIONAL

 **2 M\$**

 **15 employés**

- Logiciel de gestion d'énergies propres RETScreen
- Service RETScreen Entreprise
- Renforcement des capacités et préparation de rapports

Objectifs

- Distinguer le cycle transcritique du cycle sous critique pour une pompe à chaleur
- Connaître les conditions idéales d'application d'une pompe à chaleur transcritique pour le chauffage d'espace
- Accroître l'intérêt des concepteurs et des fabricants pour les pompes à chaleur au CO₂



Sommaire

- Historique
- État du marché
- Principe de fonctionnement
- Exemples de cas
- Conclusion



Historique



Historique de la réfrigération au CO₂

- 1993 : début des systèmes sous-critiques en cascade
- 2000 : premier supermarché transcritique en Europe
- 2001 : première PAC au CO₂ pour le chauffage de l'eau domestique
- 2006 : premier supermarché transcritique en Amérique du Nord (Québec, fabricant québécois)
- 2011 : premier aréna transcritique en Amérique du Nord (Québec, fabricant québécois)
- 2012 : utilisation des éjecteurs dans les supermarchés
- 2013 : premier supermarché transcritique aux É.-U. (fabricant québécois)

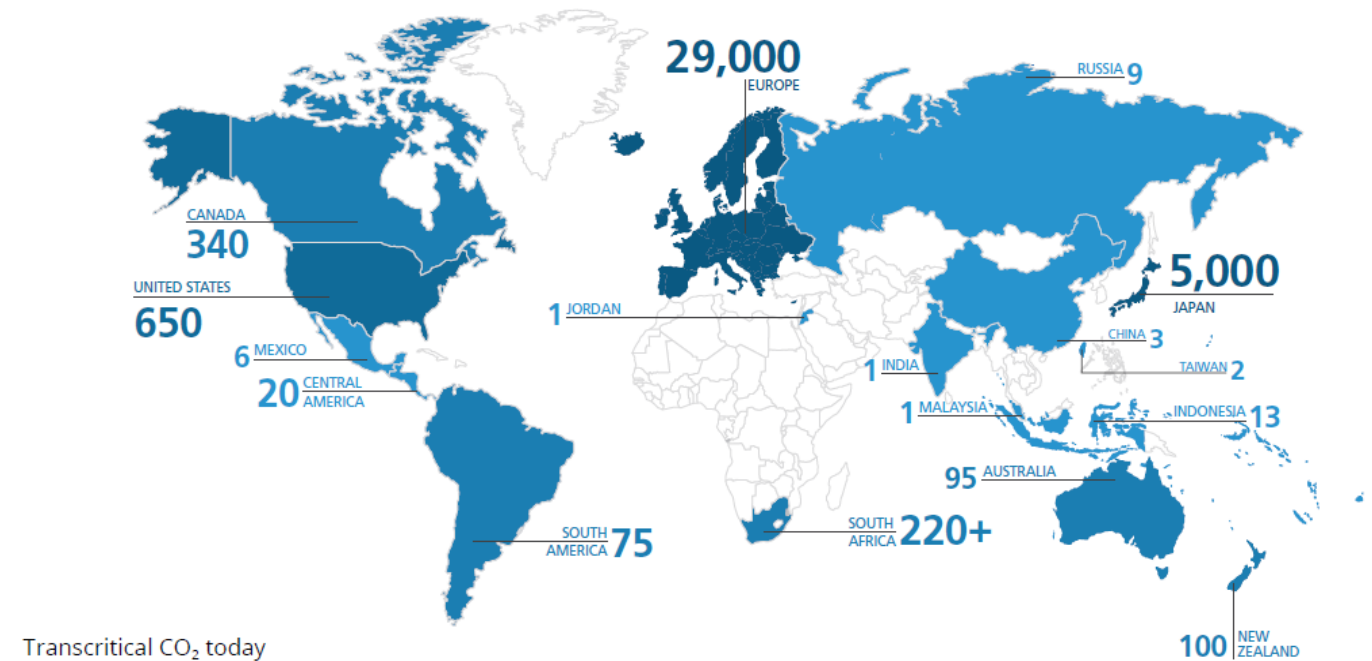


Systemes CO₂ transcritiques dans le monde

- Supermarchés
- Dépanneurs
- Systèmes industriels
- Arénas
- Centres de données
- PAC : marginal

CO₂ transcritical installations in the world

sheccoBase



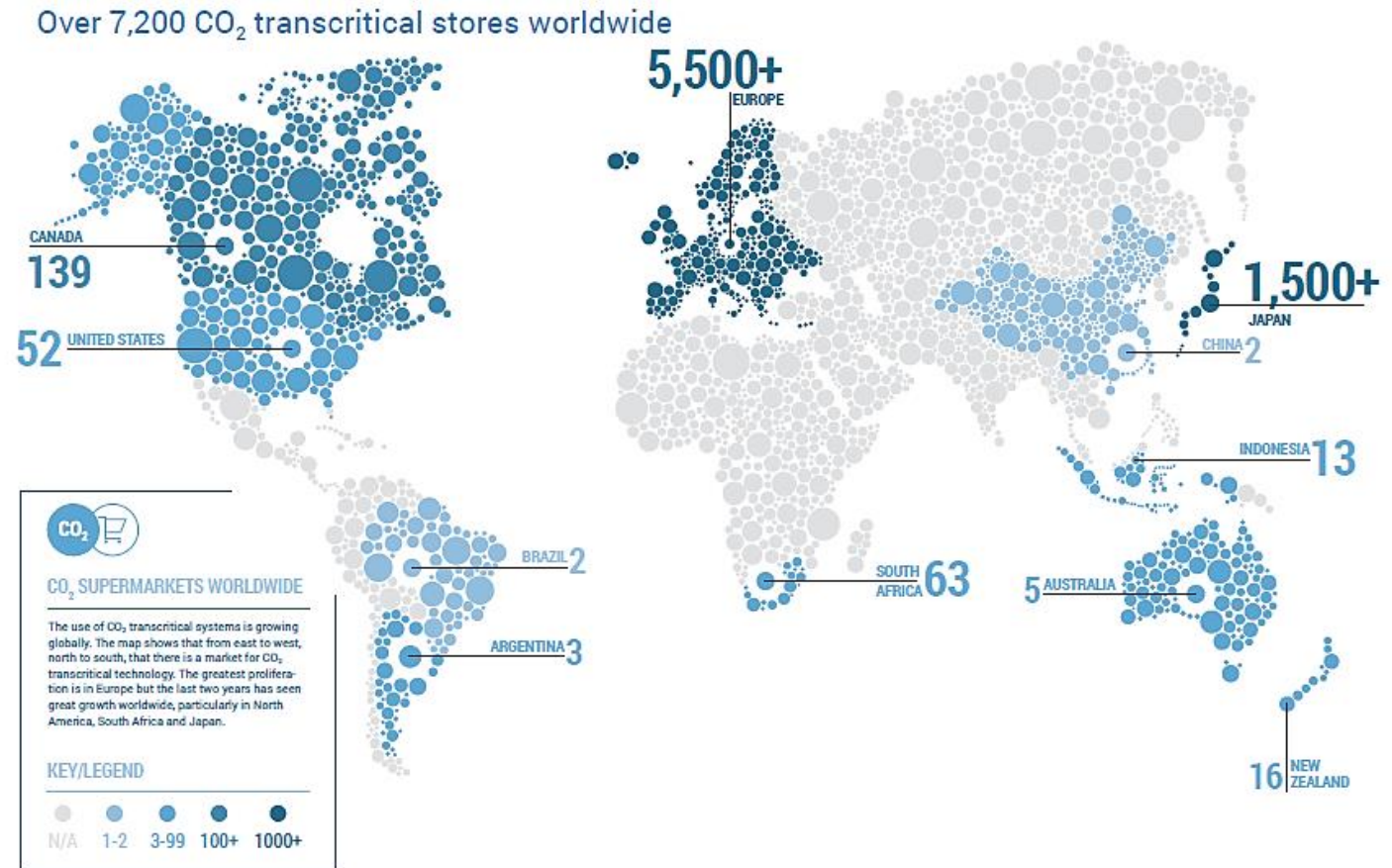
Transcritical CO₂ today

Source : World Guide to Transcritical CO₂ Refrigeration, Shecco, 2020



Supermarchés utilisant le CO₂ comme réfrigérant en 2016

- Le Canada a presque 3 fois plus de systèmes transcritiques que les É.-U. en 2016
- La majorité de ces systèmes se trouvent au Québec
- Le Québec est un pionnier des systèmes au CO₂ en Amérique du Nord



Source : Shecco 2016



Avantages du CO₂

- A1 : non toxique, ininflammable
- Très faible PRG
- Coefficient d'échange élevé dans les échangeurs
- Faible viscosité
- Perte de charge: peu d'effet sur la température saturée



Règlement unique au Québec

- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC)
- 1er janvier 2021 : interdiction d'installer un appareil de réfrigération servant à la conservation des aliments ayant une puissance nominale supérieure à 50 kW et utilisant un réfrigérant ayant un PRG supérieur à 150
- Favorise grandement l'utilisation du CO₂
- Possible uniquement au Québec grâce à la compétence de nos industries et entreprises de service dans le domaine du CO₂



État du marché

Pompes à chaleur transcritiques CO₂



Systemes de réfrigération commerciaux

- La plupart des systèmes de réfrigération peuvent être utilisés comme PAC
- Exemple : supermarchés, arénas
- Technologie mature et bien mise en œuvre
- Équipement sur mesure pouvant être construit
- Système multicompresseur semi-hermétique avec capacité de réfrigération jusqu'à 500 kW



Systemes de réfrigération commerciaux



Chauffage de l'eau domestique

- Technologie bien mise en œuvre depuis 2001
- Plusieurs fabricants
- PAC air-eau ou eau-eau



PAC industrielles

- PAC eau-eau à grande capacité
- Capacité en MW
- Nouvelle technologie de compresseurs transcritiques à grande capacité



PAC industrielles



Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur



Cycle de compression mécanique

$$COP_c = \frac{Q_e}{W}$$
$$COP_h = \frac{Q_c}{W}$$

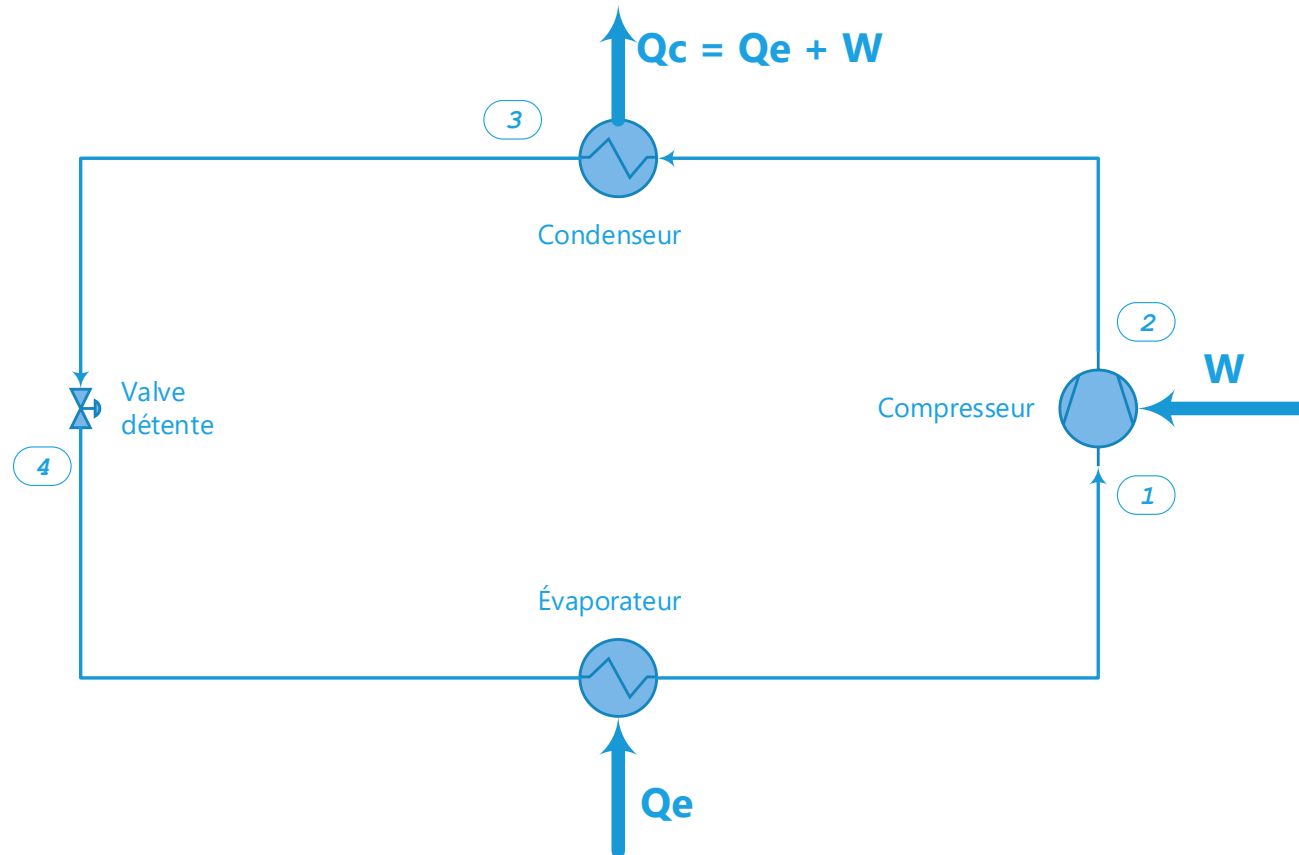
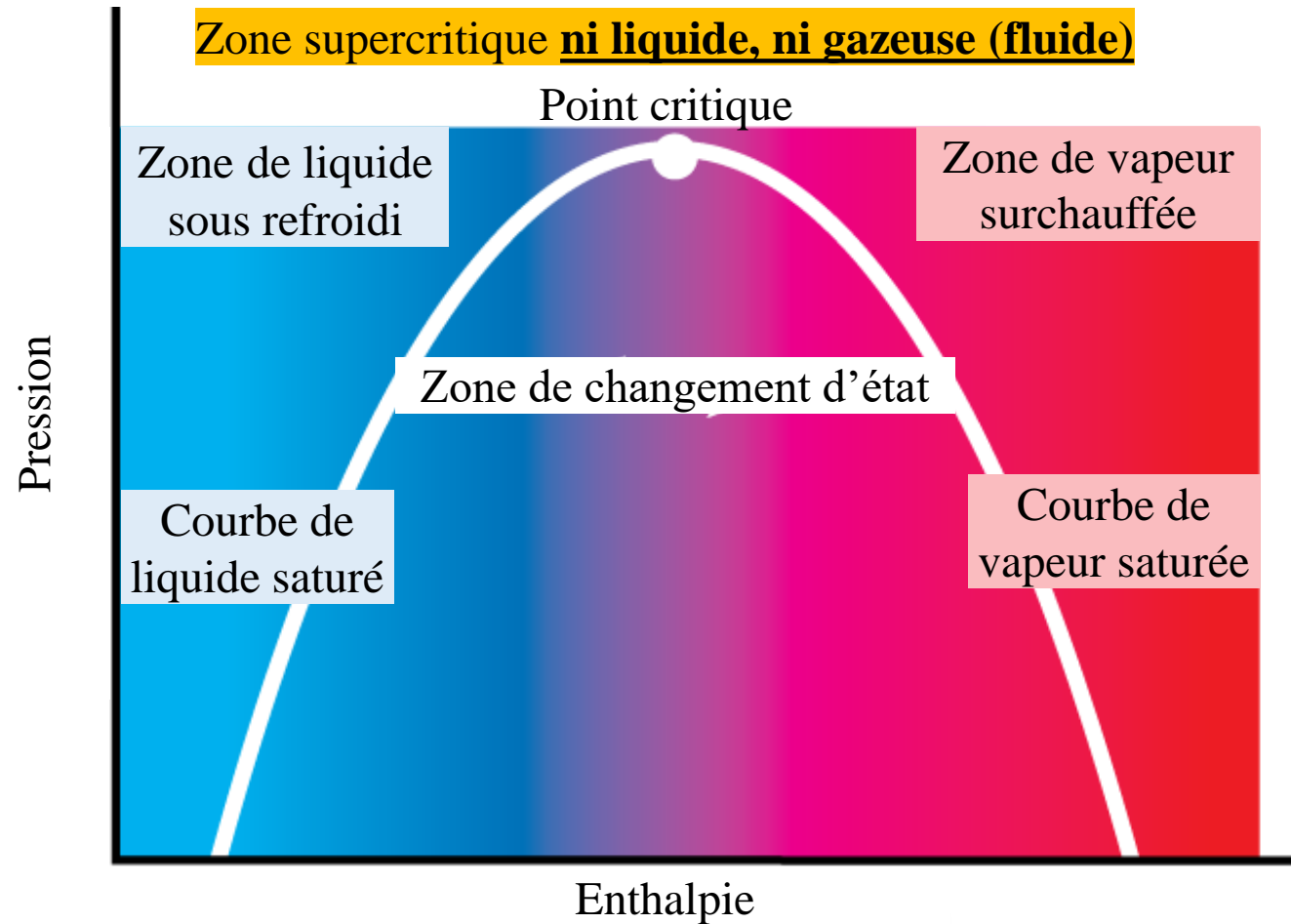
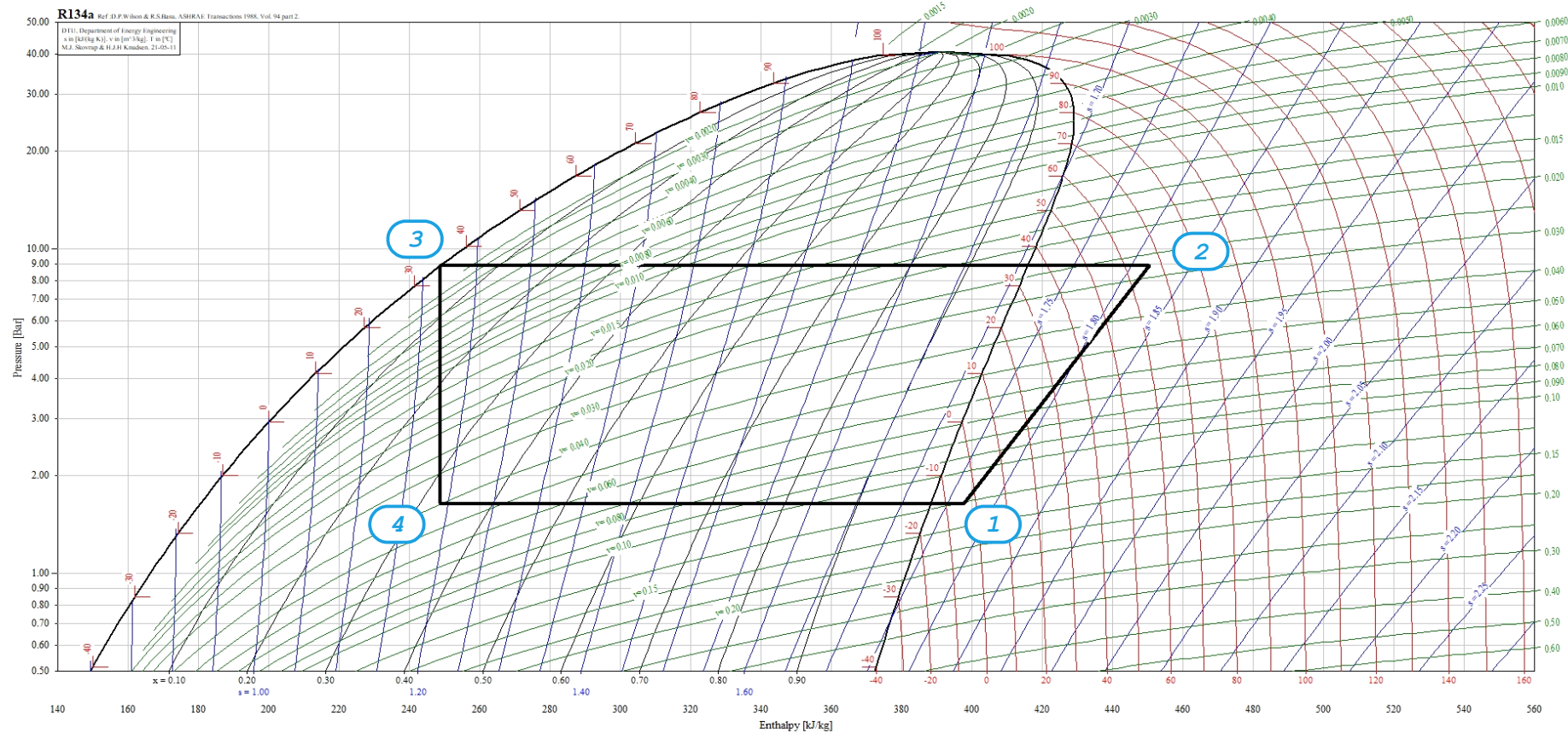


Diagramme pression-enthalpie



Cycle de compression sous-critique

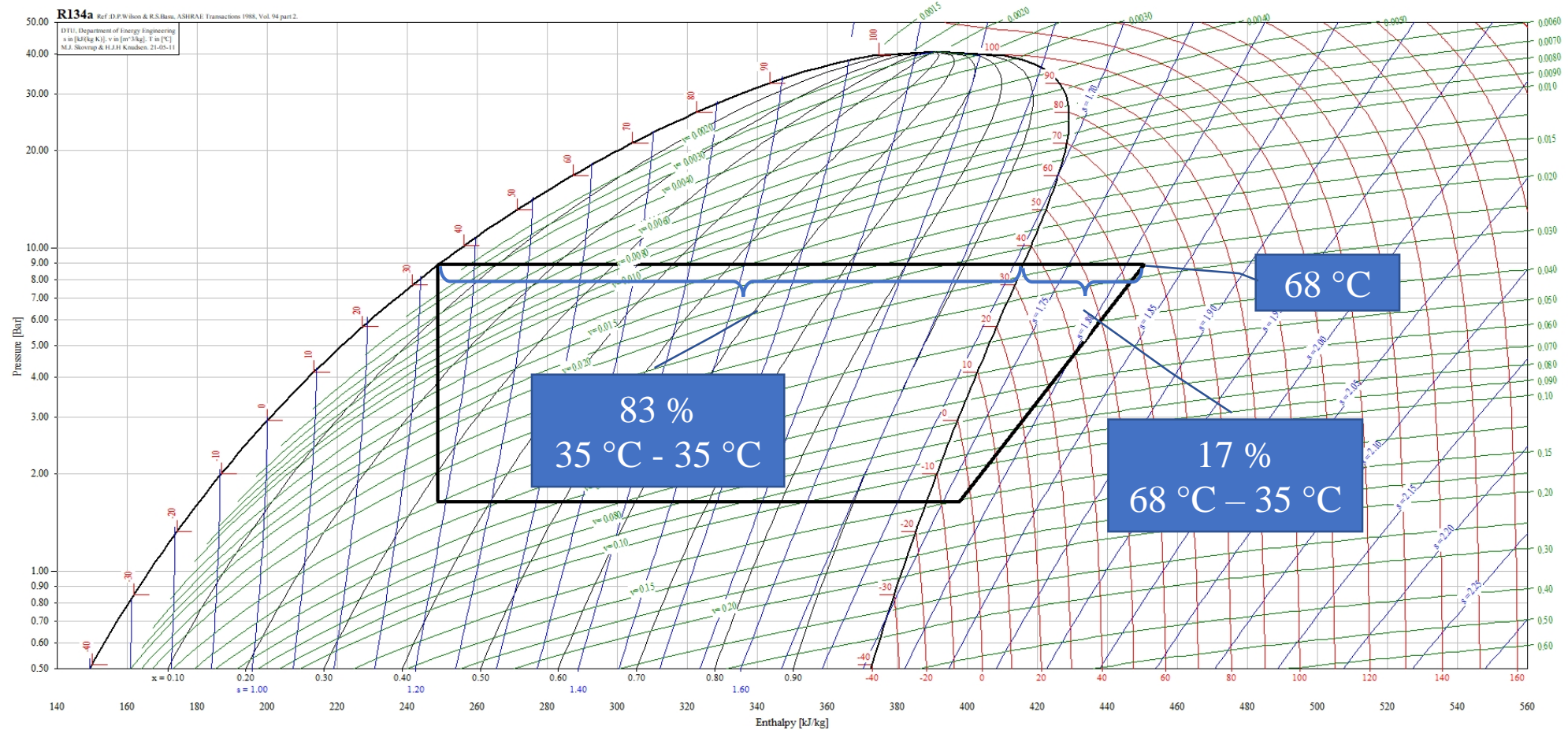


PAC de cycle traditionnel (sous-critique)

- Réfrigérant : R134a
- $T_e = -15$
- $T_c = 35$
- $\text{COP}_c = \frac{q_{evap}}{W} = 2.83$
- $\text{COP}_h = \frac{q_{cond}}{W} = 3.83$



Répartition de la chaleur

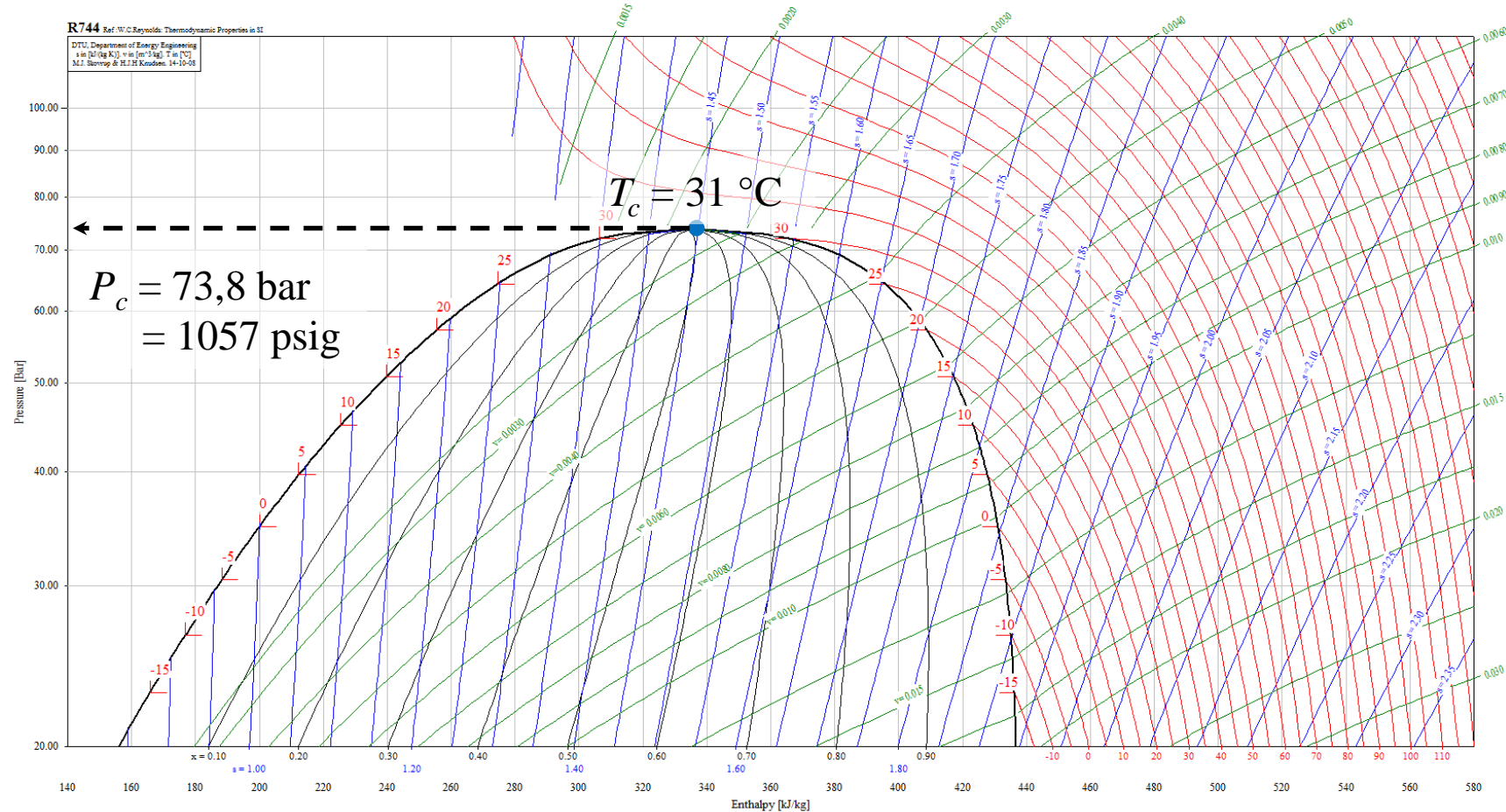


Cycle transcritique

- Point critique
- Pas de condensation. On rejette la chaleur dans un *gas cooler*
- La pression de condensation doit être contrôlée



Point critique - Diagramme P-h du CO₂



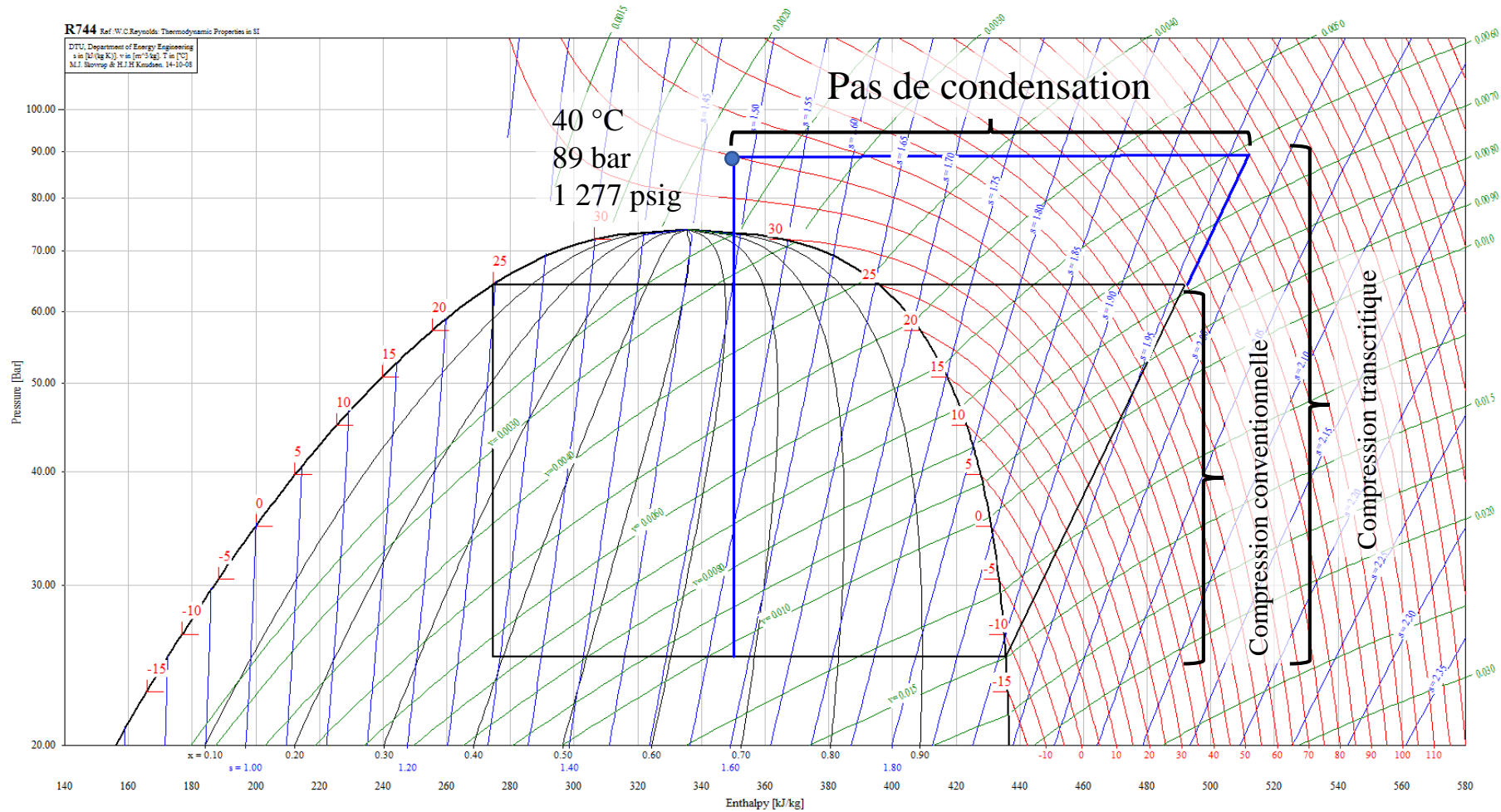
Propriétés critiques de différents réfrigérants

Réfrigérant	Température critique (°C)	Pression critique (kPa)
HFC-134A	101,1	4 059
HFC-410A	71,3	4 901
R-717	132,4	11 363
R-744	30,98	7 377
R-1234ze(E)	109,4	3 635

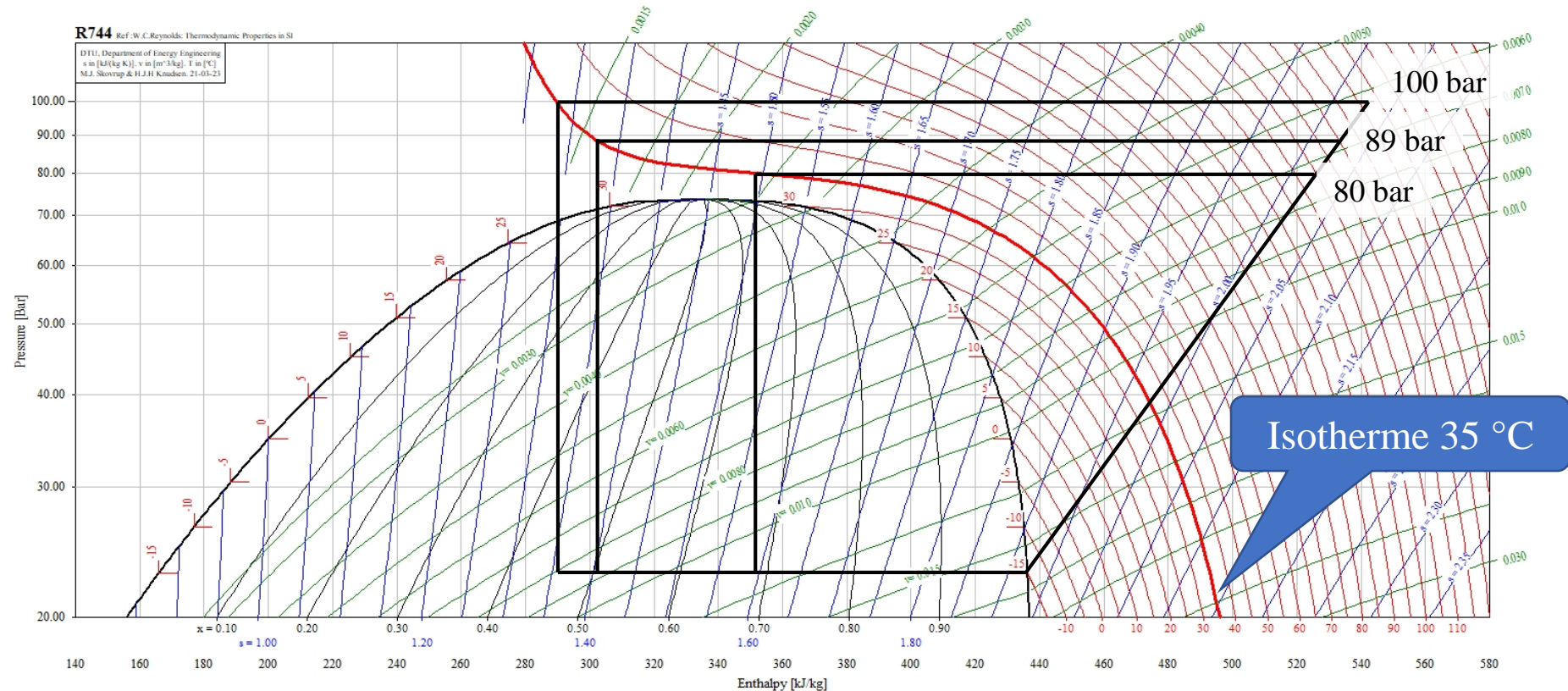
Source : NIST Refprop Database 23



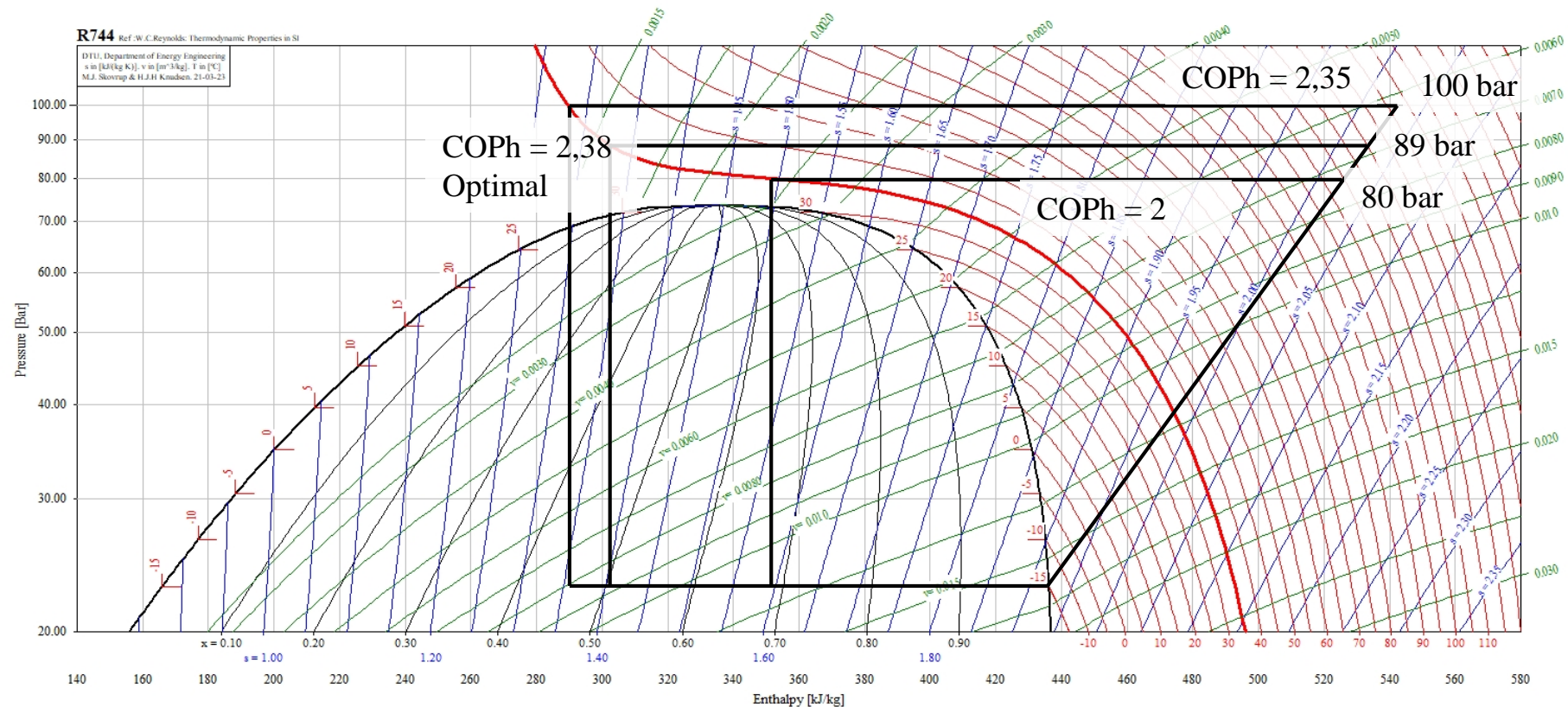
Cycle transcritique simple



Comment choisir la pression de refoulement?



Comment choisir la pression de refoulement?



PAC transcritique – Comparaison

R134a sous critique

- $T_e = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $T_c = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Surchauffe 11K
- $\text{COPh} = 4,88$

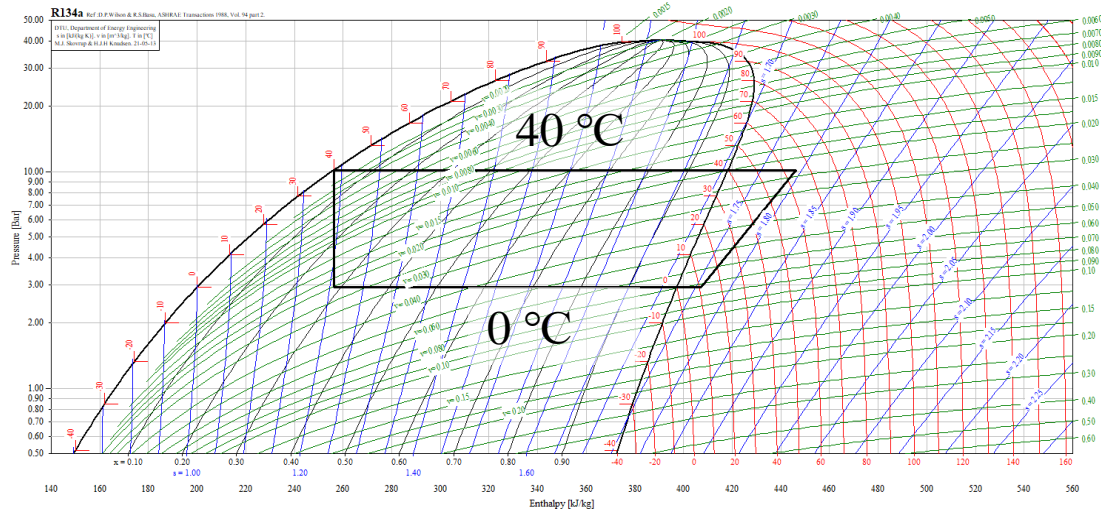
R744 transcritique

- $T_e = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $P_{gc} = 85 \text{ bar}$
- $T_{gc} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Surchauffe 11K
- $\text{COPh} = 4,83$

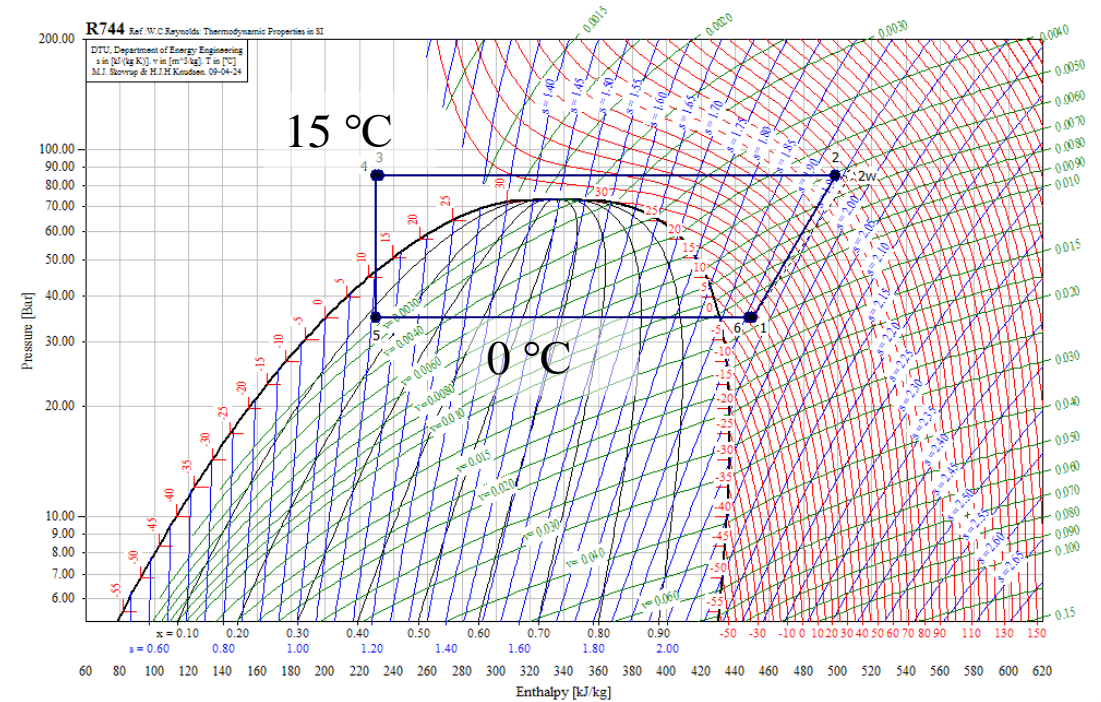


PAC transcritique – Comparaison

R134a sous critique
COPh=4,88

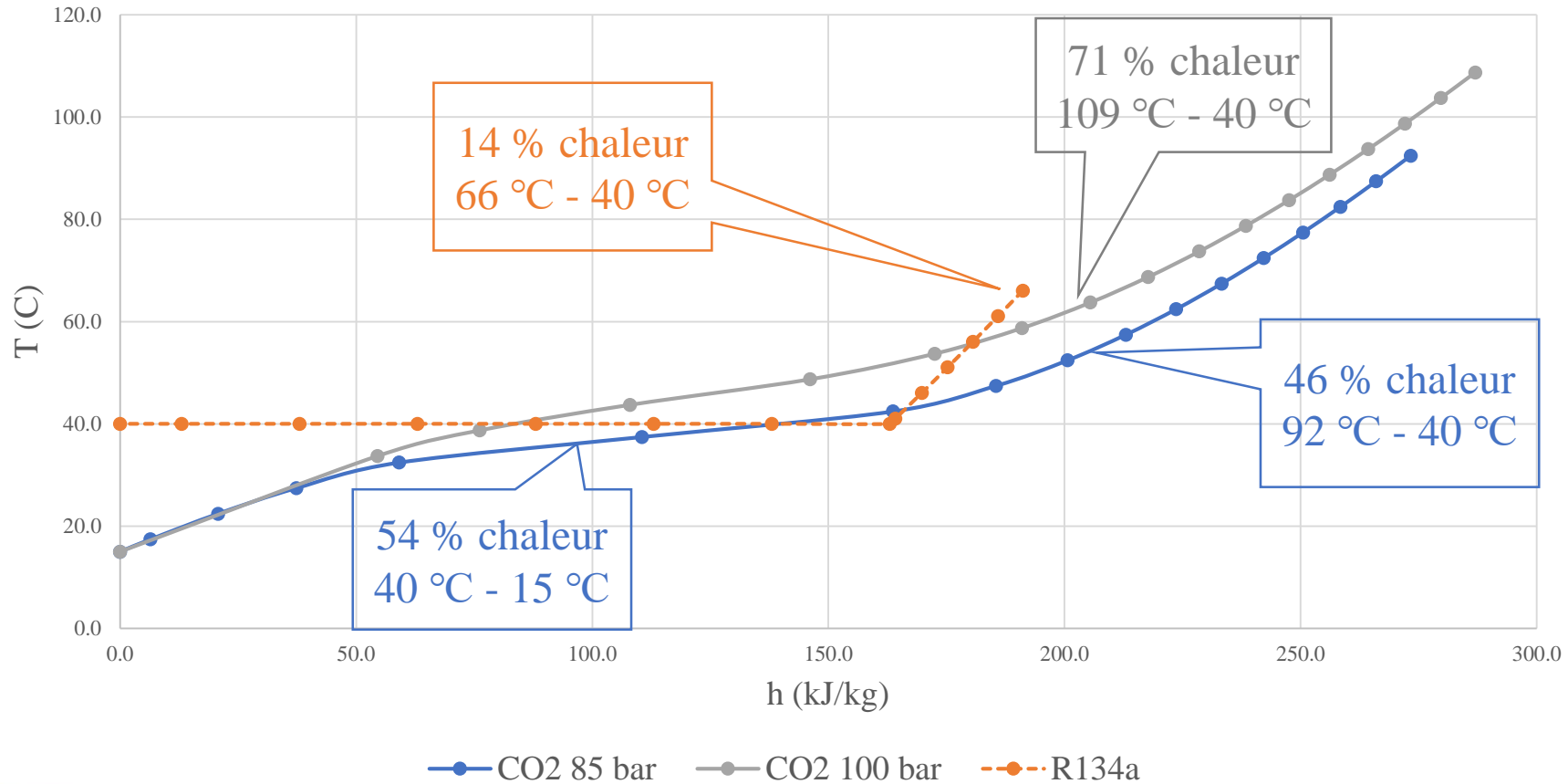


R744 transcritique
COPh=4,83

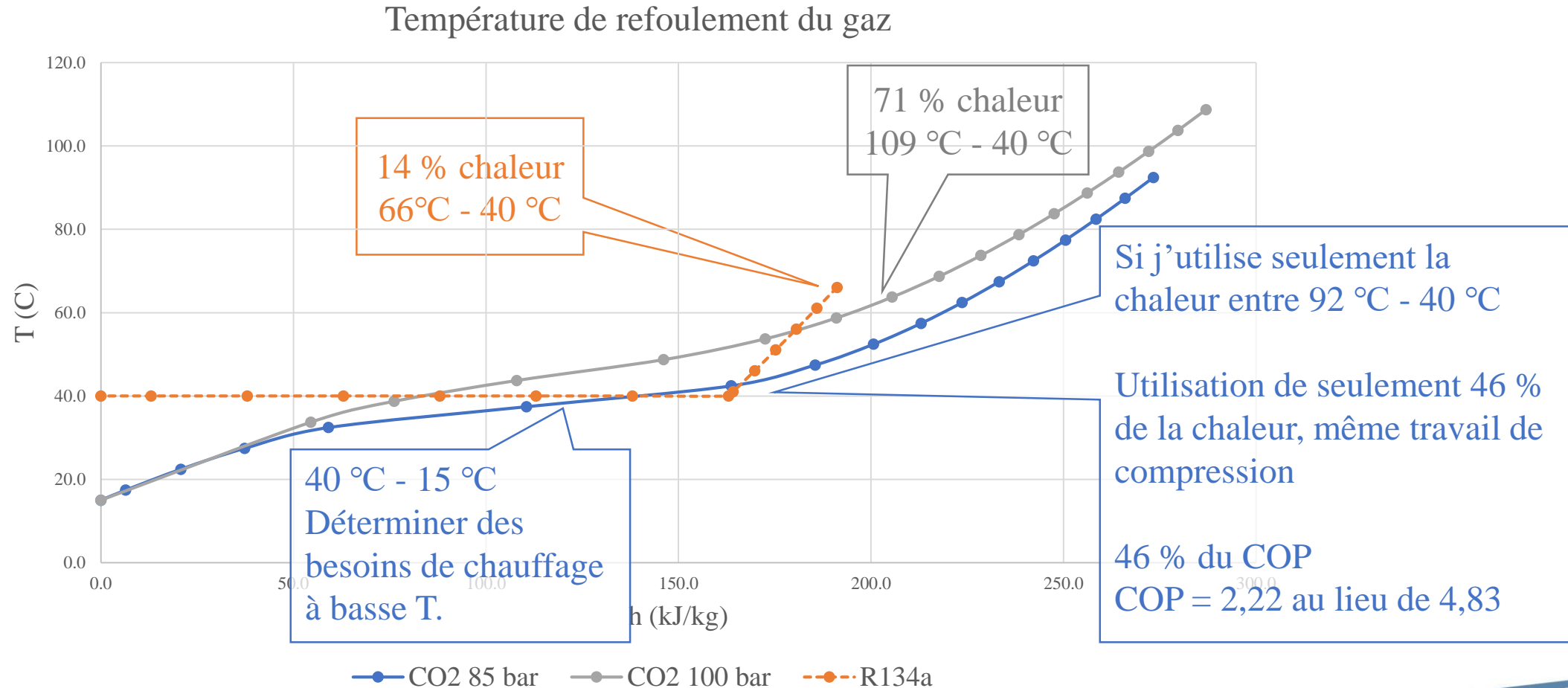


PAC transcritique – Comparaison

Température de refoulement du gaz

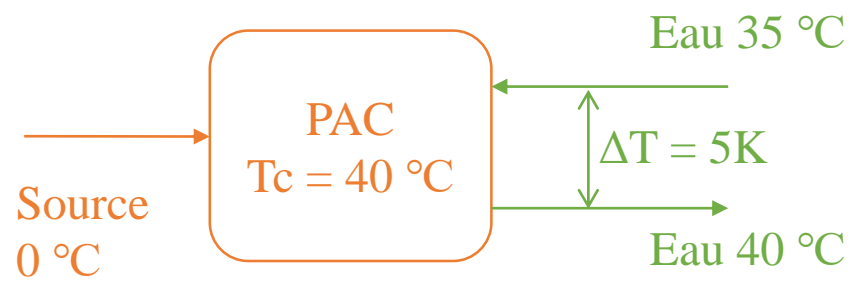


PAC transcritique – Comparaison

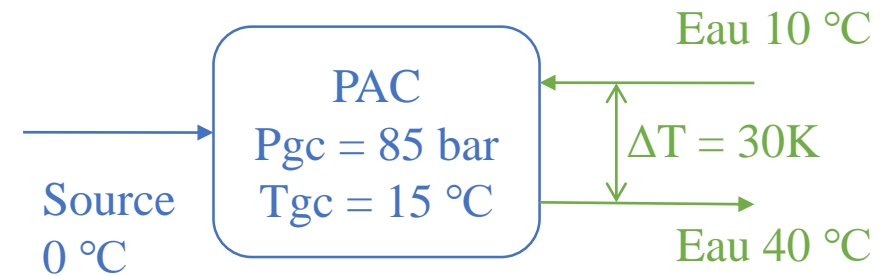


Delta T boucle eau : sous-critique vs transcritique

R134a sous critique



R744 transcritique



PAC transcritique – conditions de conception optimales

- Grand Delta T au *gas cooler*
- Distinguer les charges à haute et basse température

Exemple : immeuble de bureaux

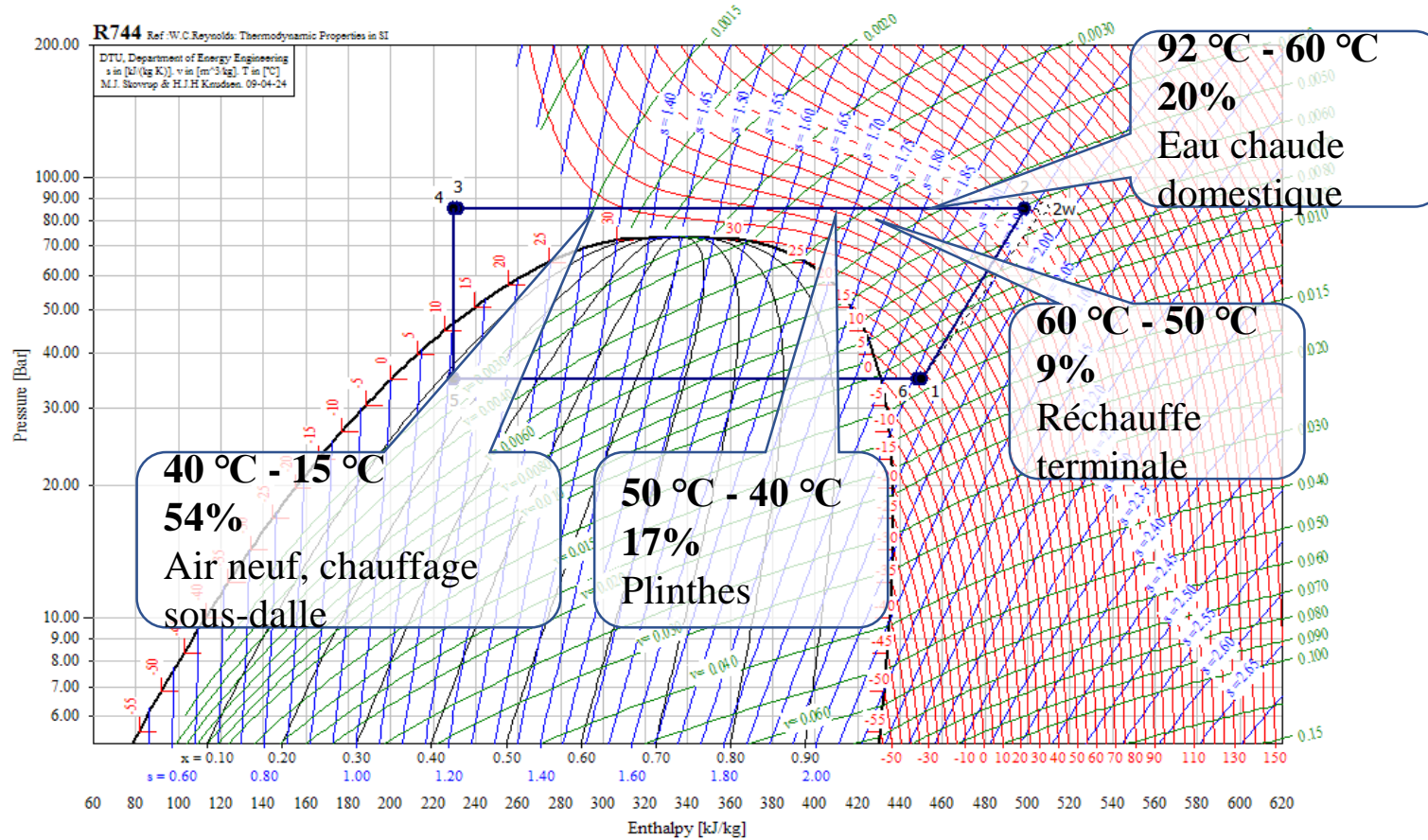
- Eau chaude domestique
- Réchauffe terminale
- Plinthes chauffantes



Utilisation de la chaleur à différentes températures

85 bar, 92 °C - 15 °C

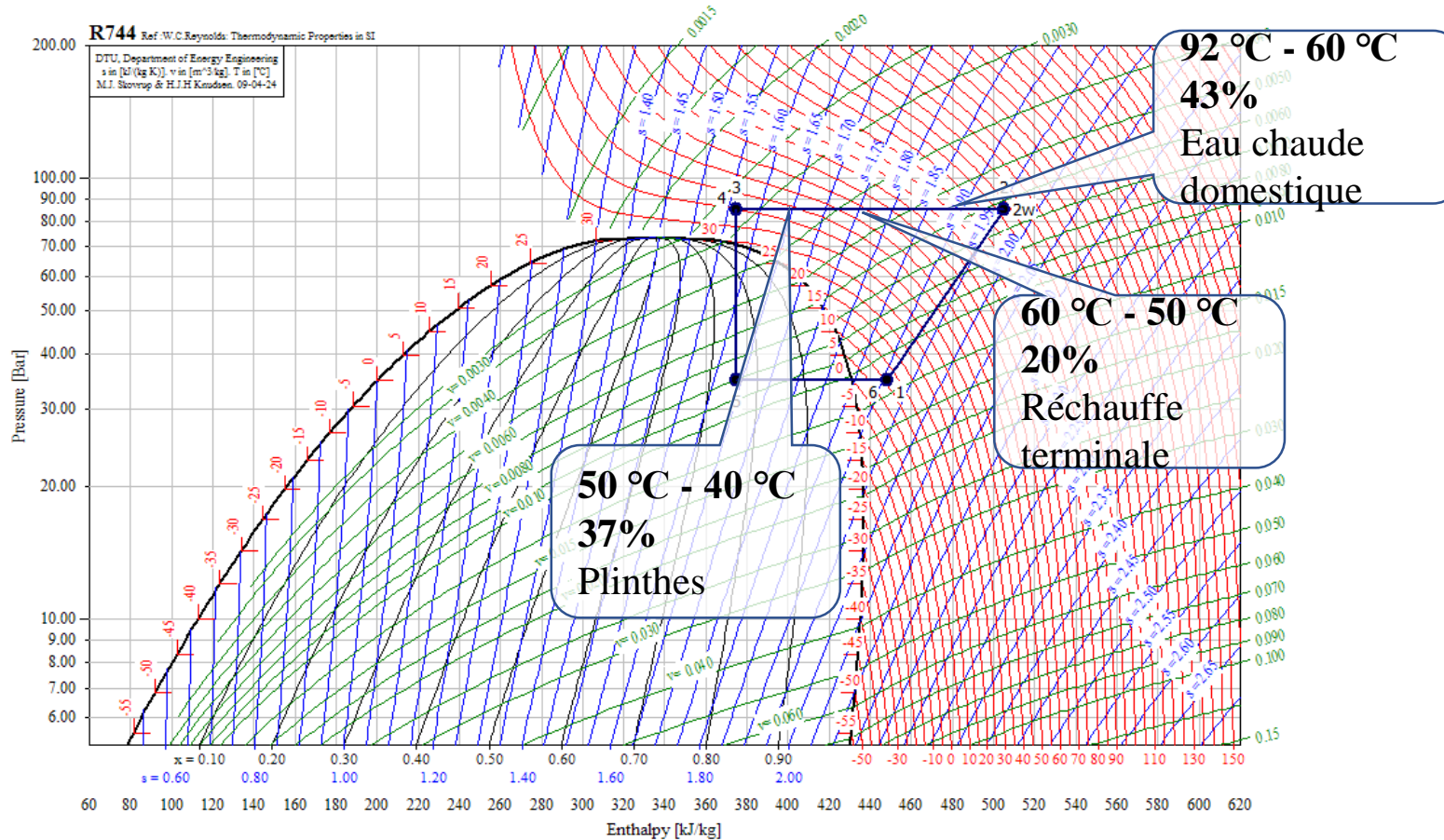
COP_h=4,83



Utilisation de la chaleur à différentes températures

85 bar, 92 °C - 40 °C

COP_h=2,24



Mode climatisation

- PAC réversible
- Source de chaleur : peut climatiser une autre zone
- Peut climatiser en été, rejet de chaleur à l'extérieur



Exemples de cas



Alaska Sealife Center



Cas de base

- Charge comblée par : 60 % PAC, 40 % chaudière électrique
- PAC existante aux HFC : maximum 54 °C
- Plinthes et chauffage terminal : 71 °C, comblés par chaudière



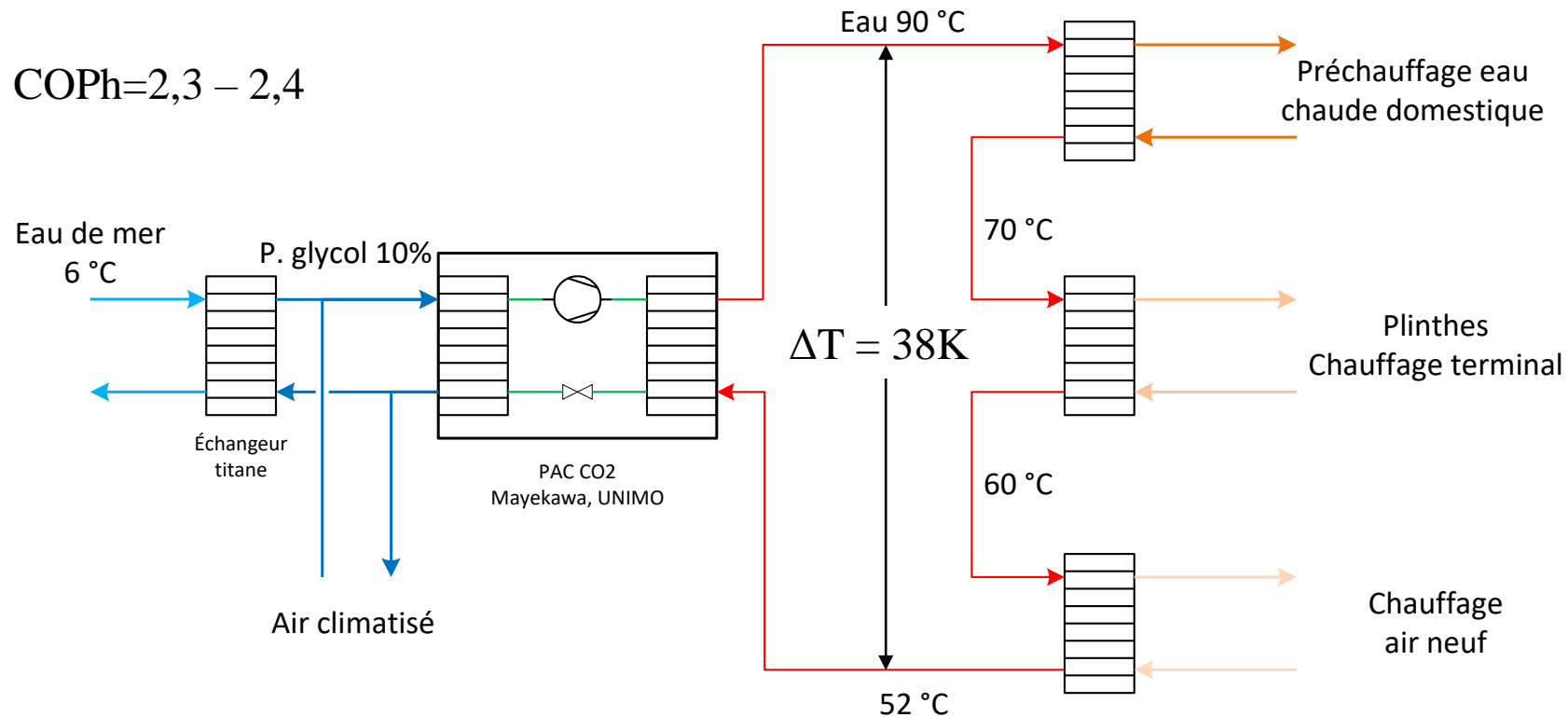
Ajout de PAC au CO₂

- PAC eau-eau CO₂
- Source : eau de mer
- Charges :
 - Eau chaude domestique
 - Plinthes, chauffage terminal
 - Air neuf



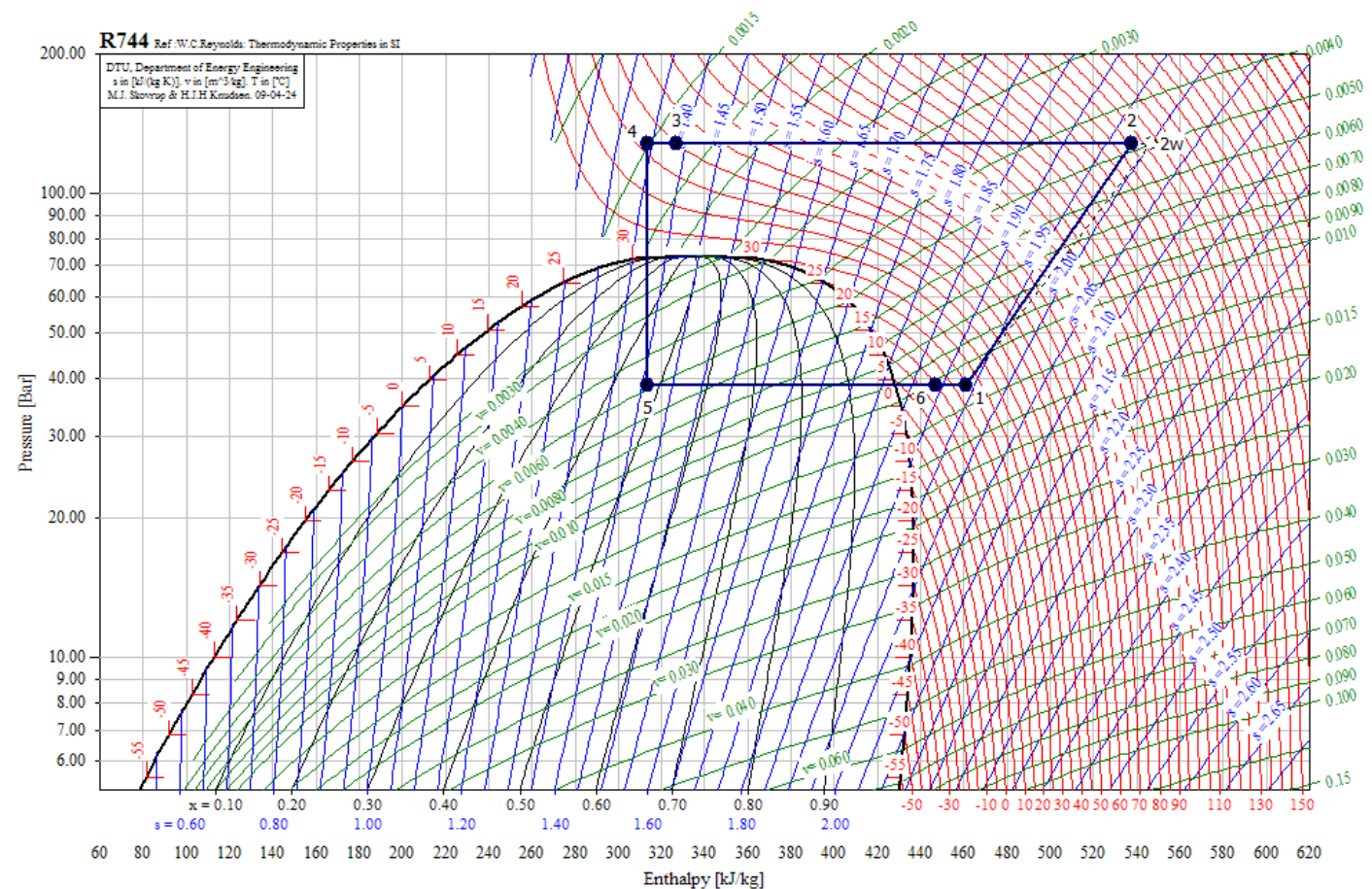
Schéma du système

$COP_h = 2,3 - 2,4$



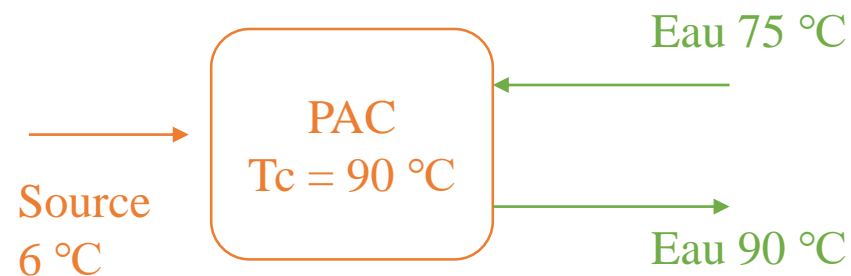
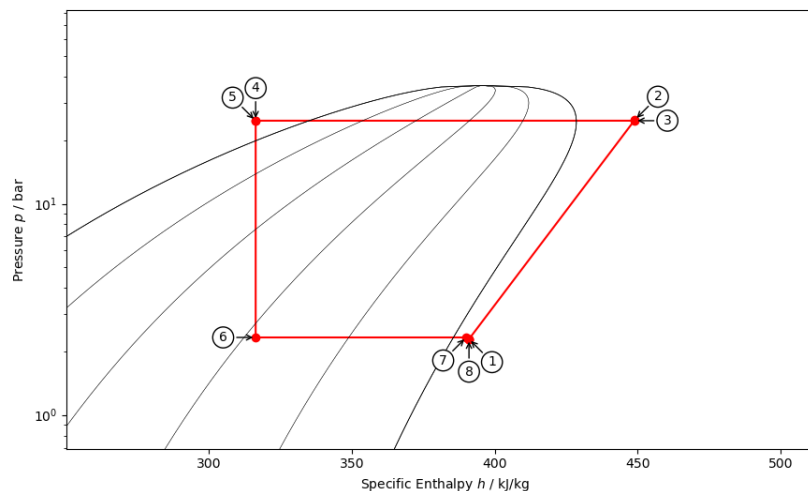
Analyse du cycle

- $T_{\text{evap}} = 2 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $T_{\text{gc}} = 54 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $P_{\text{gc}} : 128\text{-}139 \text{ bar}$
- $\text{COPh} = 2,25 - 2,4$



Comparaison avec PAC à haute température

- $T_{\text{evap}} = 2 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $T_{\text{cond}} = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $\Delta T_{\text{subcool}} = 10\text{K}$
- $\text{COP}_h = 2,15$
- R1234ze(E)



Projet de démonstration chez Canmet ÉNERGIE à Varennes

- Projet IPAC : Intégration Pompe à Chaleur dans un bâtiment existant
- Objectifs :
 - Développement d'une PAC réversible au CO₂
 - Intégration d'une PAC au CO₂ dans un bâtiment existant
 - Source de chaleur géothermique
 - Puits à expansion directe (DX) dans le sol
 - Puits à colonne permanente (PCP)
- Partenaires :
 - Emerson
 - Ceptek



Emplacement du projet : Varennes



Salle mécanique existante

Nouvelle section (bureaux)

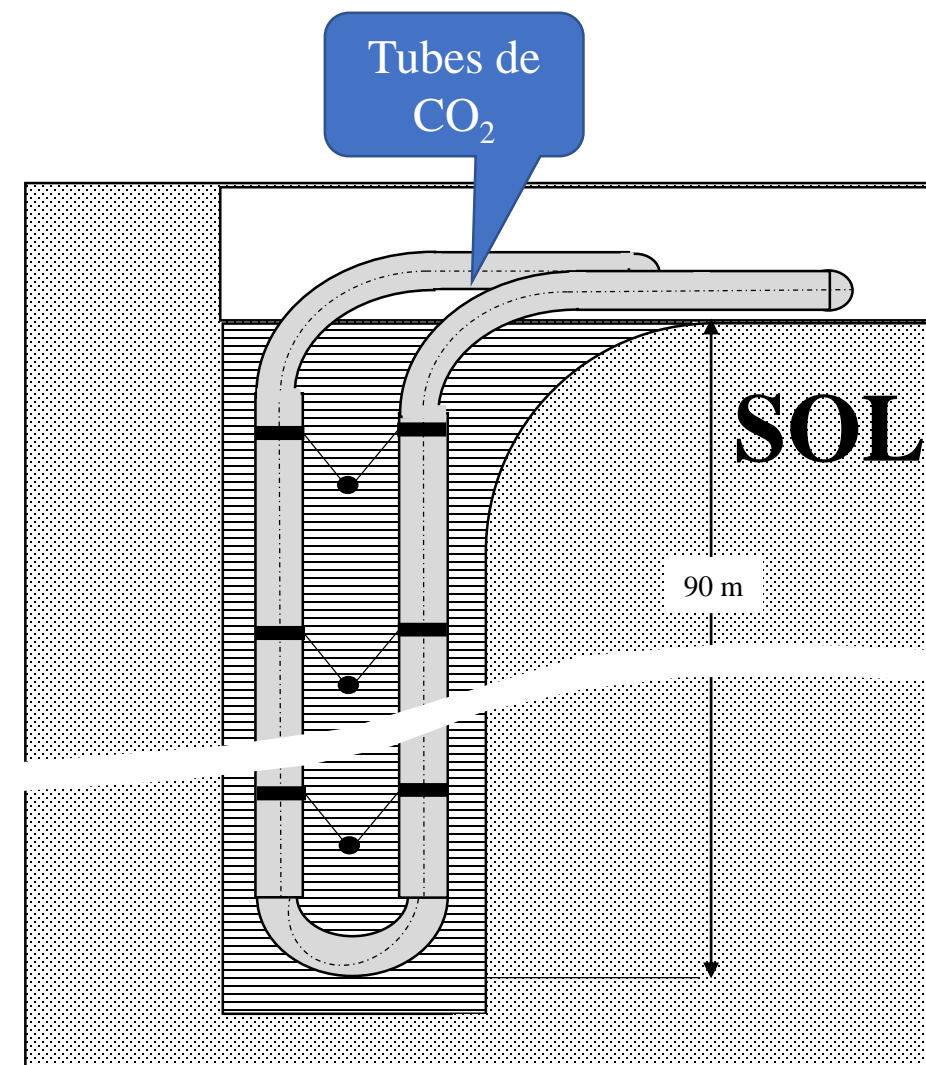
PAC au CO₂ dans un conteneur sur dalle

Champ de puits géothermiques



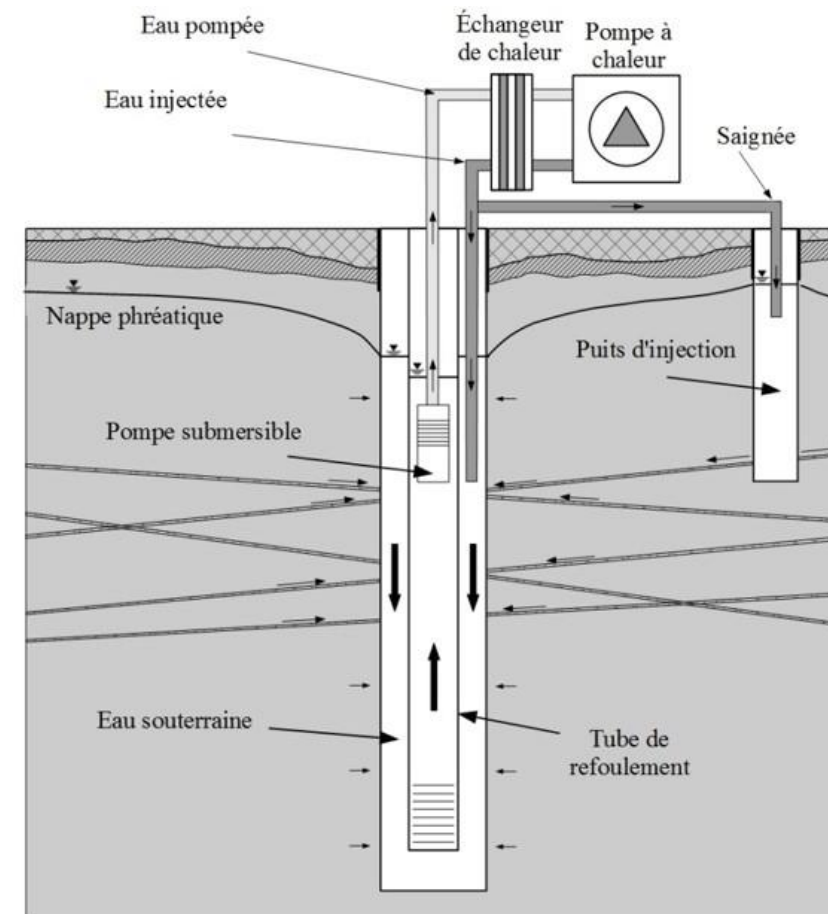
Source géothermique DX

- 5 puits de 90 m de profondeur
- Tubes de CO₂ enfouis directement dans le sol
- Position des puits obtenue par simulations



Source géothermique PCP

- Puits à colonne permanente (PCP)
- Utilise l'eau de l'aquifère souterrain comme source d'énergie
- 1 puits principal pour prélèvement d'eau, 250 m de profondeur, 150 mm de dia.
- 1 puits d'injection pour saignée de 15 %, 150 m de profondeur, 150 mm de dia.
- 1 pompe submersible à 3 HP
- Échangeur CO₂/eau



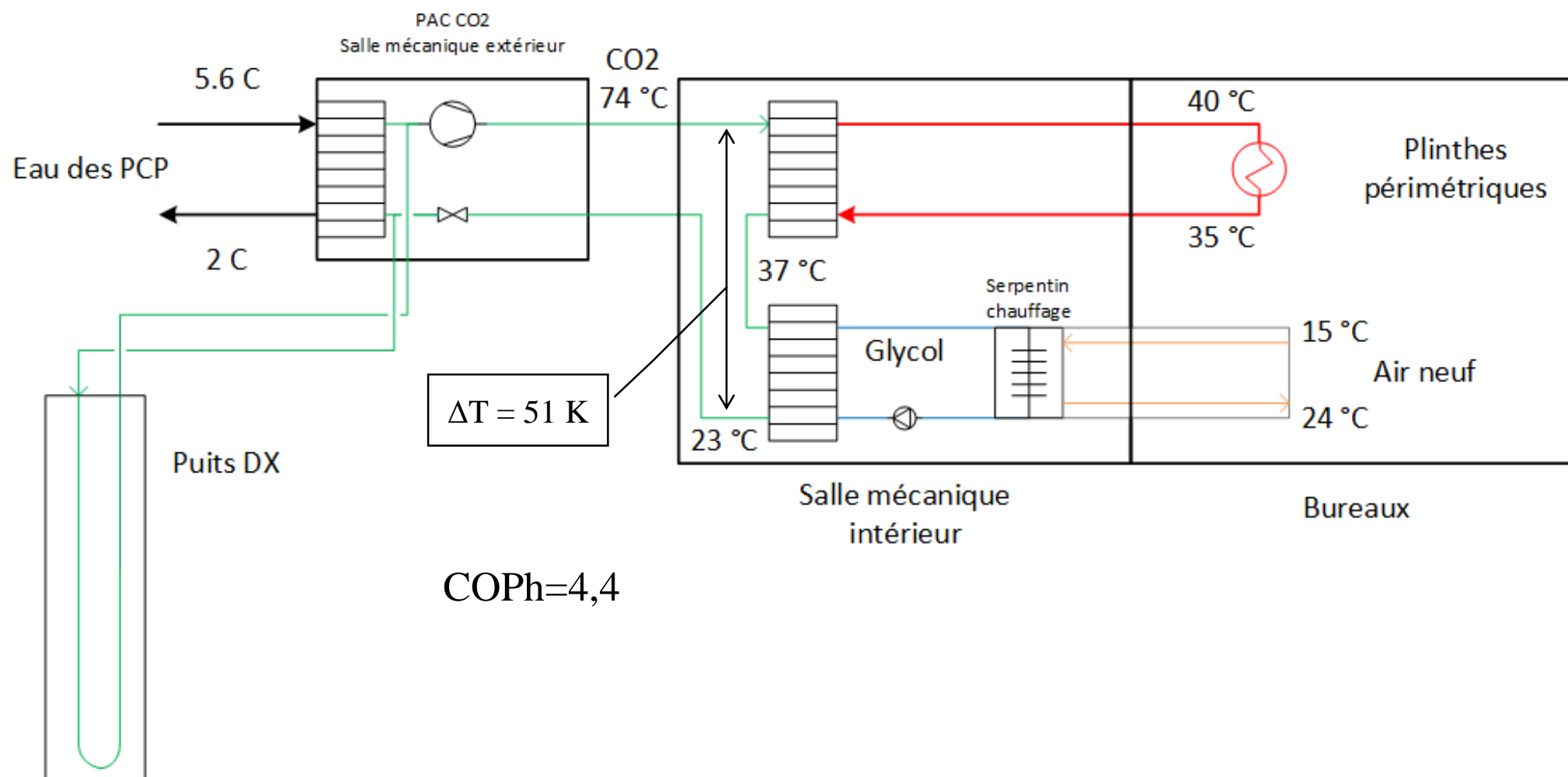
Source : Nguyen A, Pasquier P, Marcotte D. Influence of groundwater flow in fractured aquifers on standing column wells performance. Geothermics. nov 2015;58:39-48

Systeme HVAC existant

- Serpentin de chauffage à air neuf
- Plinthes périmétriques à eau chaude à basse température (40 °C)
- Serpentin de refroidissement au glycol

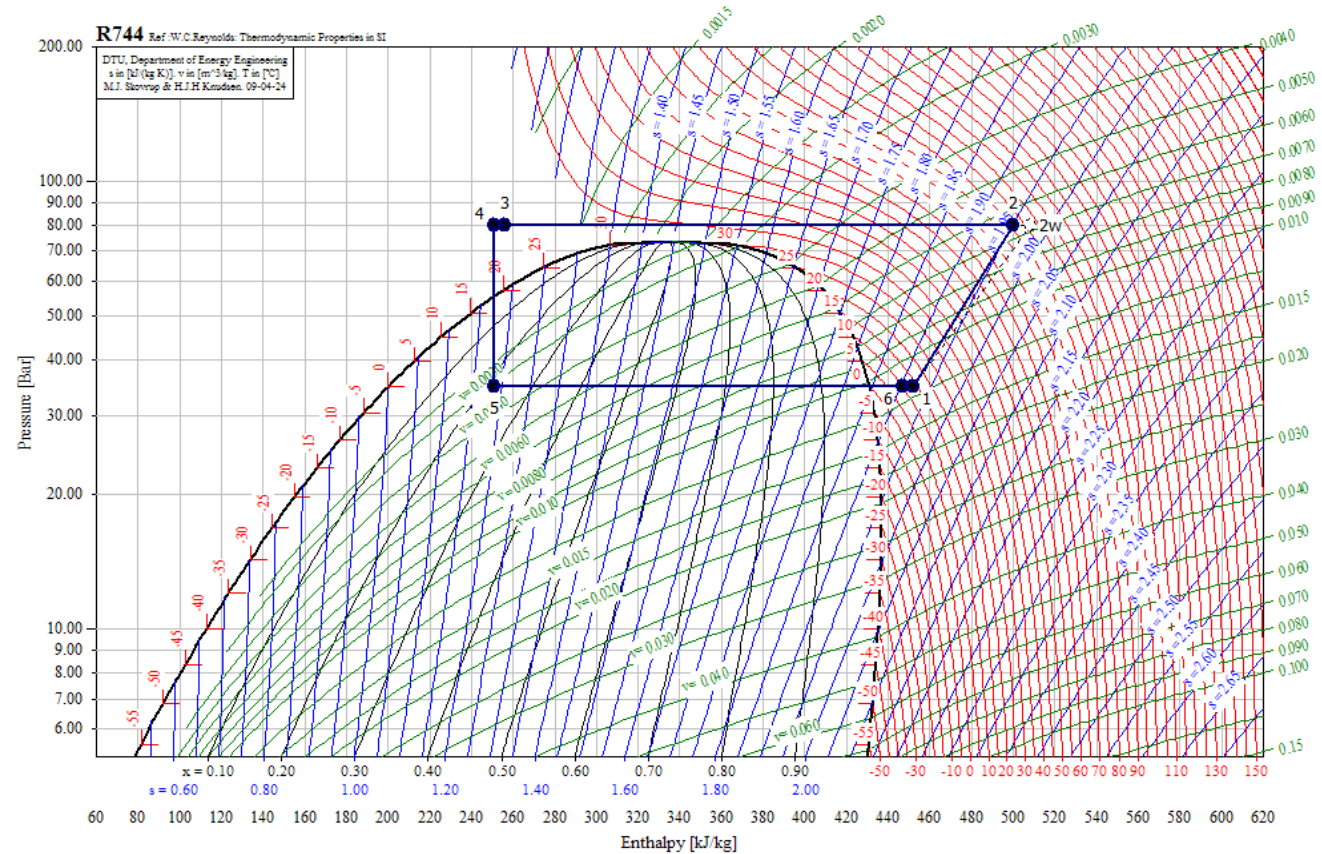


Intégration de la PAC - chauffage



Analyse du cycle

- $T_{\text{evap}} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $T_{\text{gc}} = 23 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $P_{\text{gc}} = 80 \text{ bar}$
- $\text{COP}_{\text{Ph}} = 4,4$



Pompe à chaleur 1,3 MW



Next Generation Building HVACR Sustainability

Dynamic heat pump solution designed to reduce greenhouse gas emissions and improve energy efficiency



TECHNICAL SUMMARY	
System Overview	
System Type	Water to Water, CO2 Transcritical
Compressor	VSS-222 CFM, HPLD Single Screw
Max Operating Pressure	1,500 psig
Max Motor HP / Speed	865 HP / 4,300 RPM
Capacity Modulation	VFD
Controls	Allen-Bradley PLC (BACnet compatible BAS)
Certifications	CSA & UL with CRN
Unit Performance Data	
Heat Source Temp. Range	50°F to 70°F
Heat Sink Temp. Range	Up to 160°F
Heat Sources:	Internal Loads, Water, Geothermal Probes, Air
Heating / Cooling Capacity	1,350 kW / 1,050 kW
Combined COP	5.5

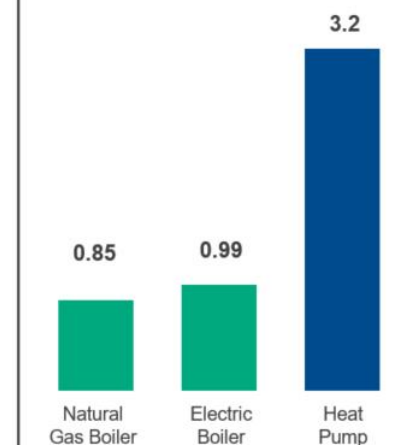
HPLD COMPRESSION TECHNOLOGY

High pressure low displacement (HPLD) compression technology is designed for applications that require a high-pressure ratio with single stage compression



7 models ranging from 128 CFM to 243 CFM at 60 Hz
8-1 compression ratio
Pressure differential capability up to 1000 psid

HEATING EFFICIENCY (COP)



Source : Emerson. Utilisé avec permission.



Conclusion



Conclusion

- Compétence et innovation des fabricants du Québec
- Équipements commerciaux et industriels disponibles: peuvent être modifiés pour faire des PAC transcritiques
- Cycle transcritique : pas de condensation, grand ΔT
- Conception : grand ΔT sur la boucle chaude, déterminer les besoins de chauffage à différentes températures



Questions?

Philippe Simard, ing. M. Sc. A
philippe.simard@canada.ca

Prochain webinaire: le jeudi 17 Juin de 12h00 à 13h00

**Gestion de la pointe;
Technologies disponibles au niveau du bâtiment**



Canada

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2021



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada