



La réfrigération

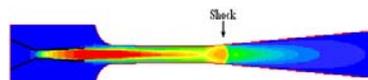
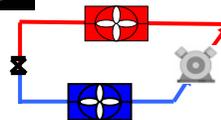
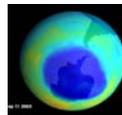
Les technologies en développement

Daniel Giguère, ASHRAE, Ste-Foy, 2 février 2009



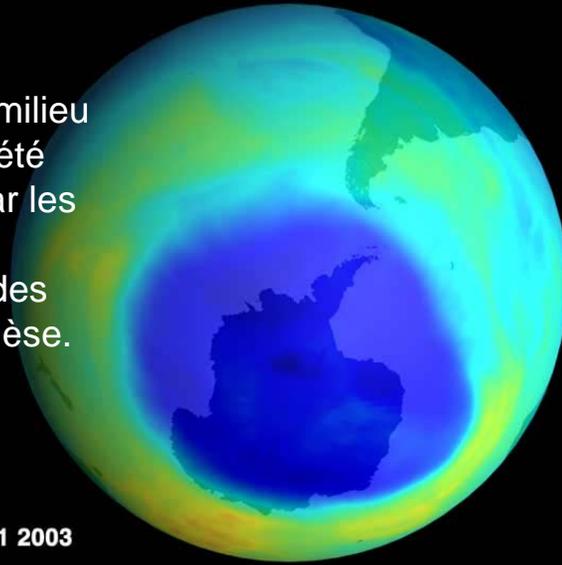
Thèmes

- Contexte
- Les principes fondamentaux
- Les fluides secondaires
- Le réfrigérant dioxyde de carbone
- Les éjecteurs



Contexte

Depuis vingt ans, le milieu de la réfrigération a été fortement ébranlé par les conséquences environnementales des réfrigérants de synthèse.



Sep 11 2003



Ressources naturelles
Canada

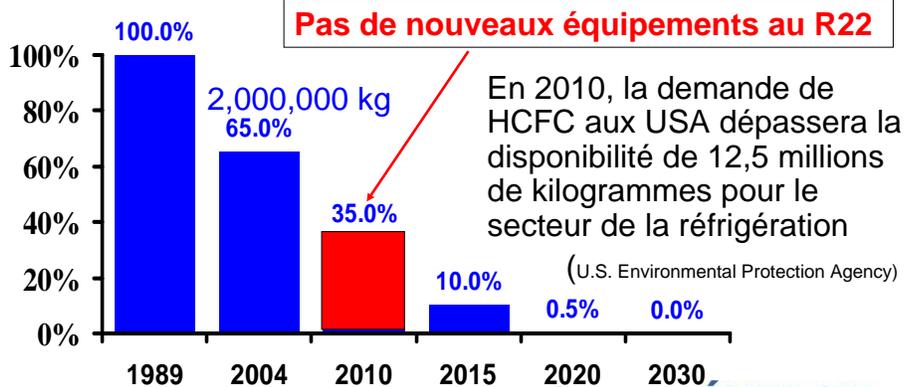
Natural Resources
Canada

3

Canada

L'échéancier de l'élimination progressive des HCFC

Production HCFC



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

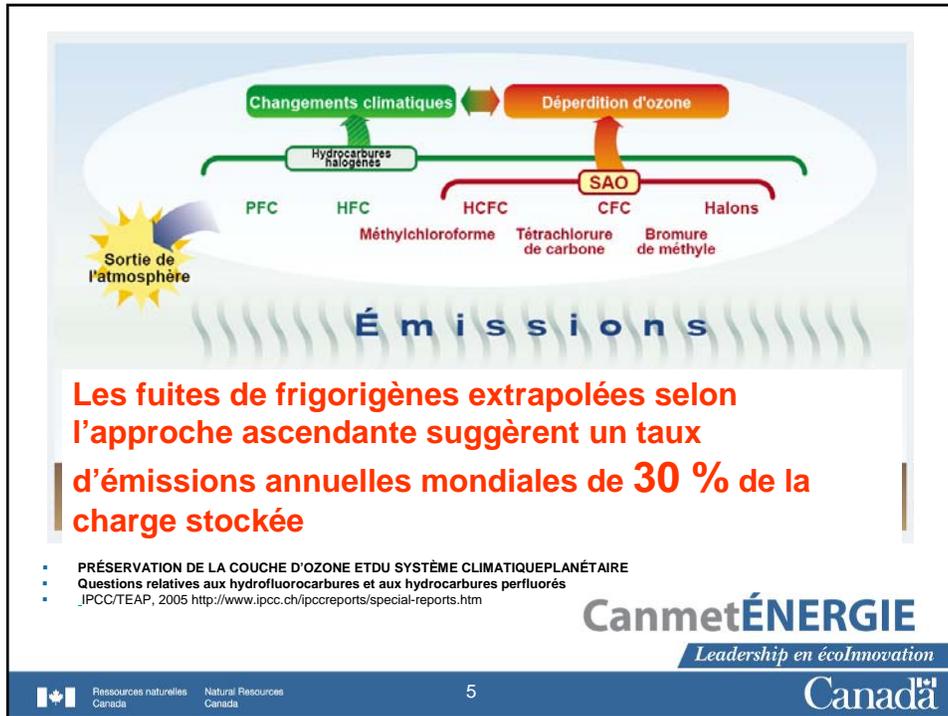


Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

4

Canada



PRG (GWP) des réfrigérants HFC

Tableau RID-1. Potentiel de réchauffement global (PRG) des halocarbures régis par le Protocole de Montréal et par la CCNUCC et son Protocole de Kyoto (évalués dans le rapport en relation avec le CO₂ à un horizon de 100 ans), avec leur durée de vie et le potentiel de réchauffement de la planète (PRP) utilisé par la CCNUCC. Les gaz sur fond bleu (clair) relèvent du Protocole de Montréal, les gaz sur fond jaune (clair) de la CCNUCC. [Tableaux 2.6 et 2.7]

Gaz	PRG, forçage radiatif direct ^a	
HFC		
HFC-23	14 310 ± 5 000	R404a = R 125/143a/134a R410a = R 32/125 R507a = R 125/143a
HFC-143a	4 400 ± 1 540	
HFC-125	3 450 ± 1 210	
HFC-227ea	3 140 ± 1 100	
HFC-43-10mcc	1 610 ± 560	
HFC-134a	1 410 ± 490	
HFC-245fa	1 020 ± 360	
HFC-365mfc	782 ± 270	
HFC-32	670 ± 240	
HFC-152a	122 ± 43	

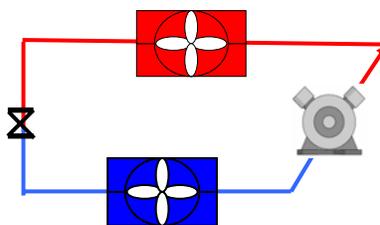
CanmetÉNERGIE
Leadership en écoInnovation

Ressources naturelles Canada / Natural Resources Canada

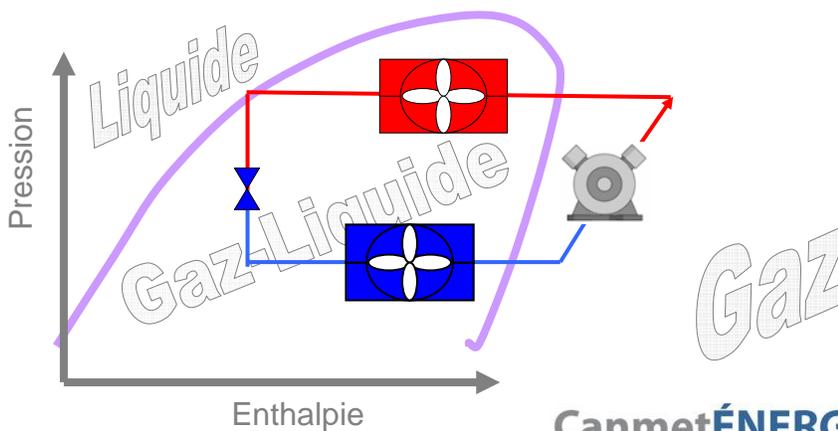


Les principes fondamentaux

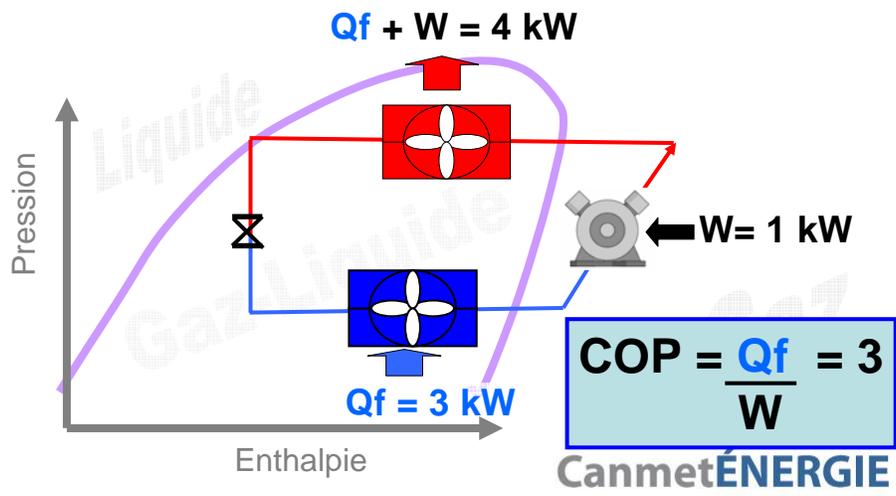
Le cycle de réfrigération



Le cycle de réfrigération



La définition du COP

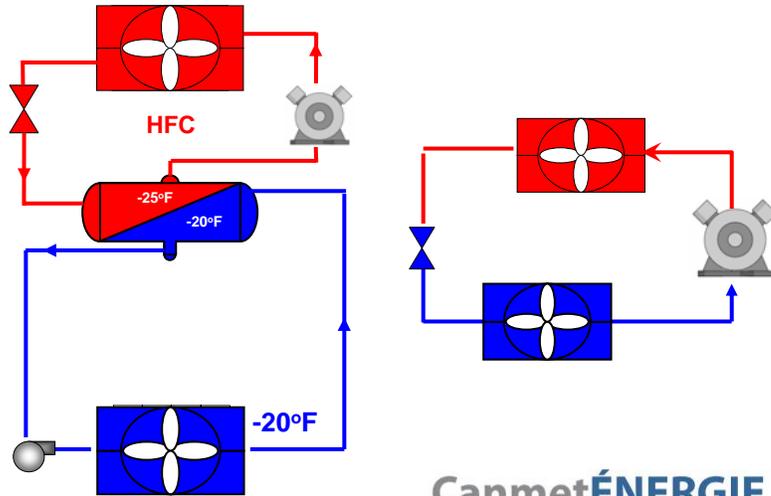


Les fluides secondaires

Les systèmes de réfrigération
indirectes



Le fluide secondaire



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



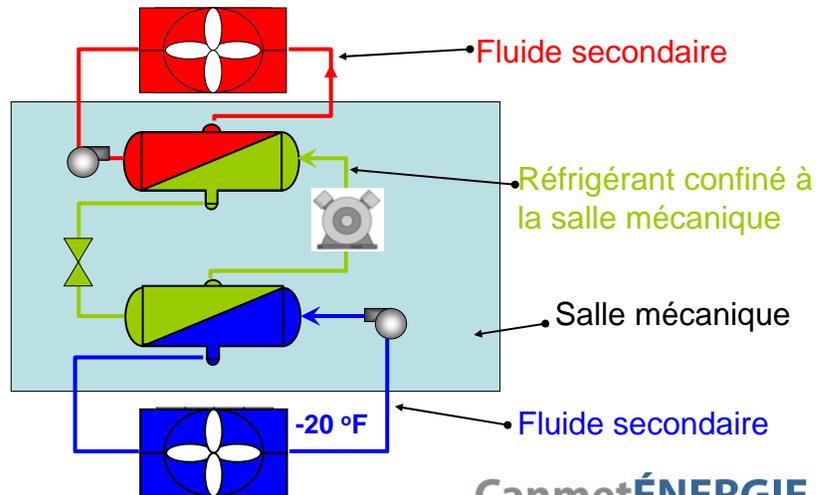
Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

11

Canada

Le fluide secondaire



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

12

Canada

Les avantages des systèmes indirectes

1. Beaucoup moins de réfrigérant de synthèse
2. Les systèmes fonctionnent mieux
3. Les systèmes sont beaucoup moins complexes
4. Les coûts de maintenances sont réduits
5. Augmentation de la qualité et de la longévité des produits alimentaires (supermarchés)

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

13

Canada

Réduction significative de réfrigérant

- 75 % à 90 % moins de réfrigérant de synthèse
- À environ 10/lb \$, ça peut correspondre à plus de 25 000 \$ pour un supermarché moyen
- Réduction dramatique des potentiels de fuites de réfrigérants

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

14

Canada

Meilleur fonctionnement

- Moins de surchauffe au compresseur, donc plus d'efficacité
- La possibilité d'installer le sous-refroidissement est meilleure, encore une meilleure efficacité
- Pression de condensation plus stable
- La controllabilité est meilleure
- Pas de problèmes de retour d'huile

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

15

Canada

Moins complexes

- Un seul évaporateur avec 2 valves de détentés situé dans la salle mécanique plutôt que 50 évaporateurs avec autant de valves de détentés situé à plusieurs dizaines de mètres de la salle mécanique
- Pas de régulateurs de pression à ajuster et à contrôler. Les valves de balancement du fluide secondaire sont ajustées au démarrage
- Tuyauterie basse pression (souvent pré-isolé en matière synthétique)

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

16

Canada

Moins coûteux à entretenir

- Les fuites de réfrigérants sont confinées à la salle mécanique donc plus faciles à détecter et moins coûteuses
- Les coûts globaux de maintenance peuvent être réduits de près de 50 % par rapport à un système à détente directe (DX) conventionnel (FMI Energy)

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

17

Canada

Qualité des produits

- Moins de perte de produits
- La température des produits plus stable (1F plutôt que 2,5F pour DX)
- Les cycles de dégivrages plus courts

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

18

Canada

Les **dés**avantages des systèmes indirectes

- Changement
- On s'attend à des pertes d'efficacité
- Coût

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

19

Canada

Le changement

- Ce n'est pas la pratique courante
- Il faut apprendre et appliquer de nouveaux critères de conception et de contrôle
- Il faut planifier longtemps d'avance pour réaliser ces changements (qui fait quoi?)
- Les soumissions des entrepreneurs ne reflètent pas les bénéfices anticipés
- C'est un travail qui s'ajoute aux nombreuses tâches et responsabilités pour tous les intervenants du projet de construction

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

20

Canada

On s'attend à des pertes d'efficacité

- Les températures d'évaporation et de condensation des systèmes à fluide secondaire sont équivalentes sinon meilleures que les systèmes à détente directe (DX)
- La surchauffe à l'aspiration des compresseurs est réduite à son minimum
- Le sous-refroidissement est très facile à intégrer et augmente l'efficacité du système de réfrigération de 10 % à 25 %
- L'inertie thermique du fluide secondaire contribue à stabiliser le fonctionnement du système
- La récupération de chaleur est plus performante et permet de satisfaire les charges de chauffage du bâtiment

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

21

Canada

Coût

- On compte plusieurs centaines d'installations en Amérique du Nord
- Les critères de conception et le choix des matériaux sont de plus en plus maîtrisés
- Le coût est encore plus élevé qu'un système DX, mais la différence diminue avec le temps et deviendra bientôt un standard dans l'industrie de la réfrigération
- Le coût d'opération est égal ou inférieur aux systèmes DX

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

22

Canada

DX vs fluide secondaire



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

23

Canada

Types de fluides secondaires

- Sans changement de phase
 - Éthylène glycol (rejet de chaleur au condenseur)
 - Propylène glycol (10 à 32 °F)
 - Formate de Potassium (-30 °F à 0 °F)
 - Autres antigels
- Avec changement de phase
 - Dioxyde de carbone (CO₂) (-50 °F à 20 °F)
 - Coulis (eau,méthanol, glycol...) (0 °F à 32 °F)

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

24

Canada

CO₂ le fluide secondaire parfait

Le CO₂ liquide refroidit un fluide en s'évaporant dans un échangeur de chaleur. Une simple pompe à liquide est utilisée pour circuler le CO₂.

- Pas de corrosion
- Puissance de pompage négligeable
- Pas de problème de gestion d'huile
- Diamètre de tuyauterie minimale
- Caractéristiques de transfert de chaleur exceptionnelles

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

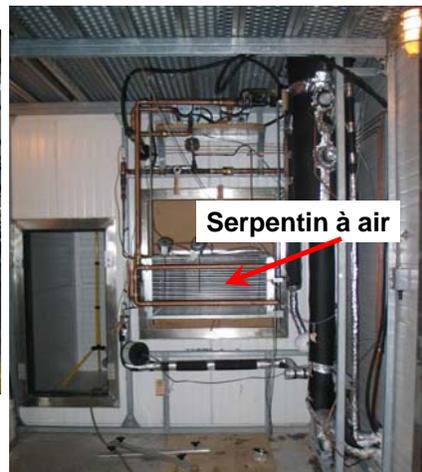
Natural Resources
Canada

25

Canada

CO₂ montage expérimental

-30 °C, CO₂ Chambre de test



Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

26

Canada

Les coulis, le fluide secondaire qui stocke de l'énergie

■ Coulis?

- Fins cristaux de glace (<0.1mm) dans un mélange antigel-eau 30% de solide environ

Avantages:

- Énergie de pompage réduite
- Dimension de la tuyauterie réduite
- Stockage de froid pour gérer l'appel de puissance
- Stockage de chaleur pour gérer les rejets thermiques (Net-Zero buildings, houses and communities)



- Banc d'essai en construction
- Défi : un générateur de coulis simple et efficace

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

27

Canada

Conclusions

L'expérience démontre qu'un système à fluide secondaire :

- Diminue les effets sur l'environnement
- Diminue la consommation d'énergie
- Augmente le potentiel de récupération de chaleur
- Augmente la qualité des produits
- Simplifie l'implantation
- Réduit les coûts d'entretien
- Diminue le coût sur le cycle de vie

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

28

Canada



Le dioxyde de carbone

- Il est présent dans l'atmosphère dans une proportion, soit **375 ppmv** (parties par million en volume)
- La concentration augmente rapidement, d'environ **2 ppmv/an**
- Le R744 fait partie des réfrigérants naturels comme l'eau, l'air, l'ammoniac et les hydrocarbures



Histoire du CO₂



Cycle Transcritique CO₂



Âge d'or du CO₂

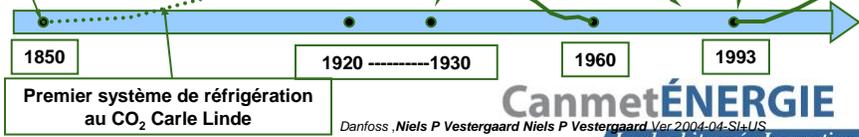
J&E Hall premier système de réfrigération deux stages CO₂

Invention des CFC 1928

Réinvention du CO₂ en réfrigération (G. Lorentzen) Norvège

Considération du CO₂ comme réfrigérant (Alexander Twining, British patent)

Protocole de Montréal 1^{er} jan. 1989



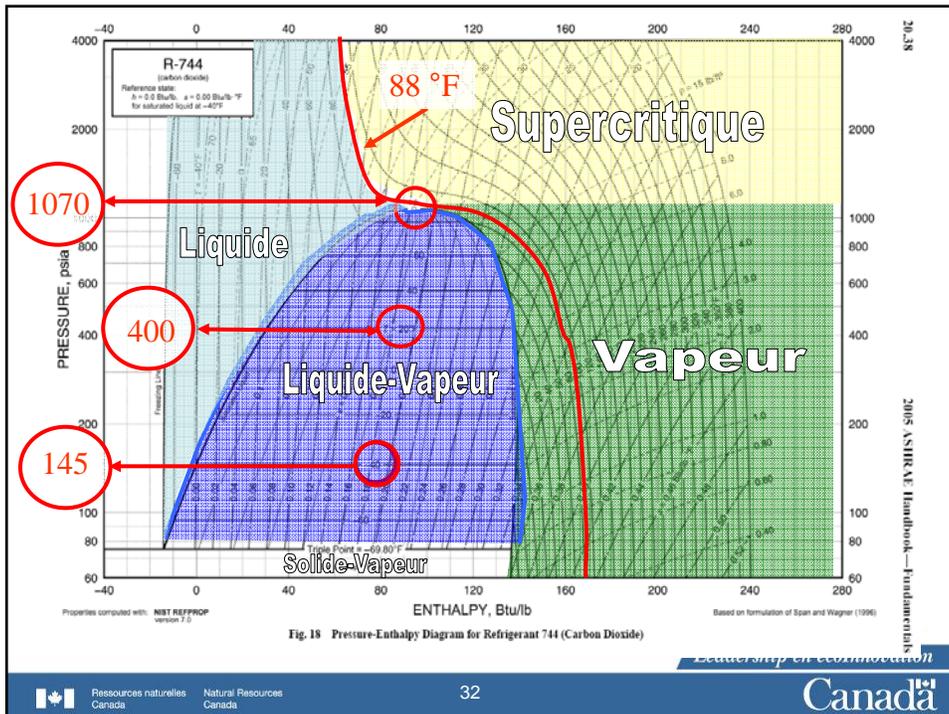
CanmetÉNERGIE

Danfoss, Niels P Vestergaard Niels P Vestergaard Ver 2004-04-26 US

Leadership en écoinnovation



Ressources naturelles Canada / Natural Resources Canada



Ressources naturelles Canada / Natural Resources Canada



Propriétés

Réfrigérant	R404A	NH ₃	CO ₂
Réfrigérant naturel	NON	OUI	OUI
Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (PDO)	0	0	0
Potentiel de réchauffement de la planète (PRG)	3260	-	1
Condition Critique [psi]/ [°F]	541/162	1640/270	1067/88
Température d'ébullition 15psig [°F]	-51	-28	-69
Température d'ébullition 400 psig [°F]	137	144	16
BTU / PIED CUBE à -40 [°F]	36	24	226
ΔTsaturée / ΔP = 1 psi à -40 [°F]	2.1	3.4	0.3
Inflammabilité	NON	(peu)	NON
Toxicité	NON	élevée	NON

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

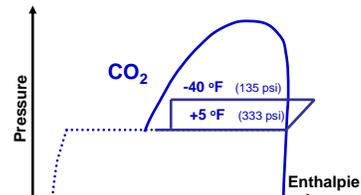
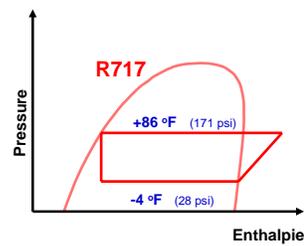
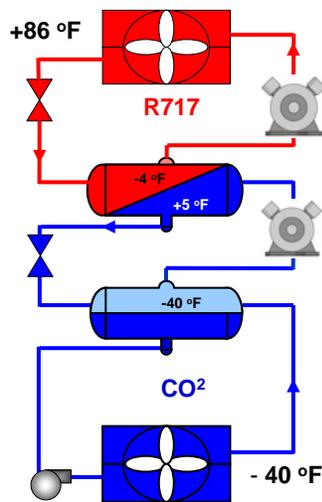


Ressources naturelles Canada / Natural Resources Canada

33

Canada

Cascade 717- CO₂



CanmetÉNERGIE

Danfoss, Niels P Vestergaard Niels P Vestergaard Ver 2004-04-SI+US

Leadership en écoInnovation

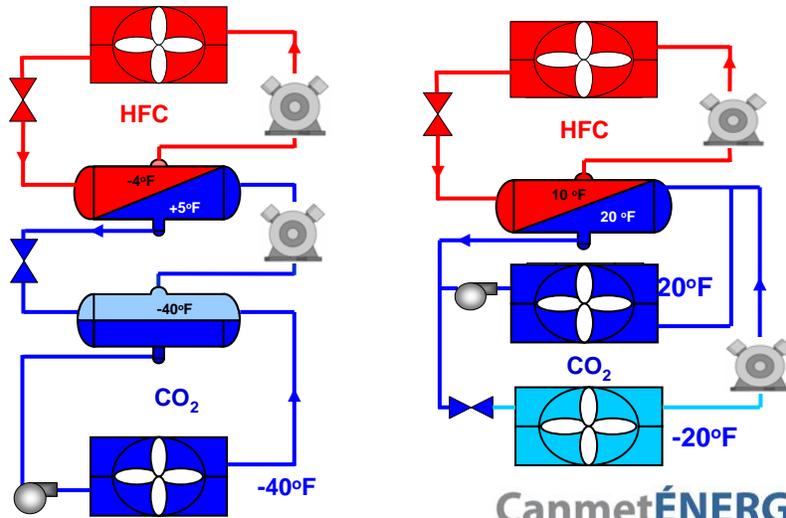


Ressources naturelles Canada / Natural Resources Canada

34

Canada

Cascades HFC- CO₂



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



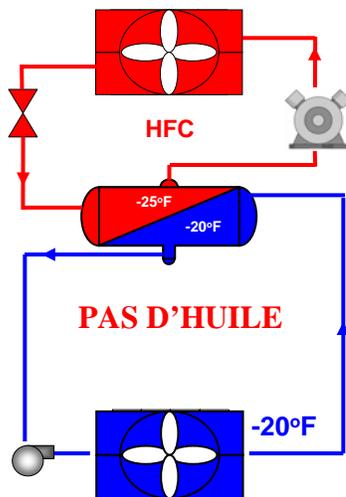
Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

35

Canada

Le fluide secondaire CO₂



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

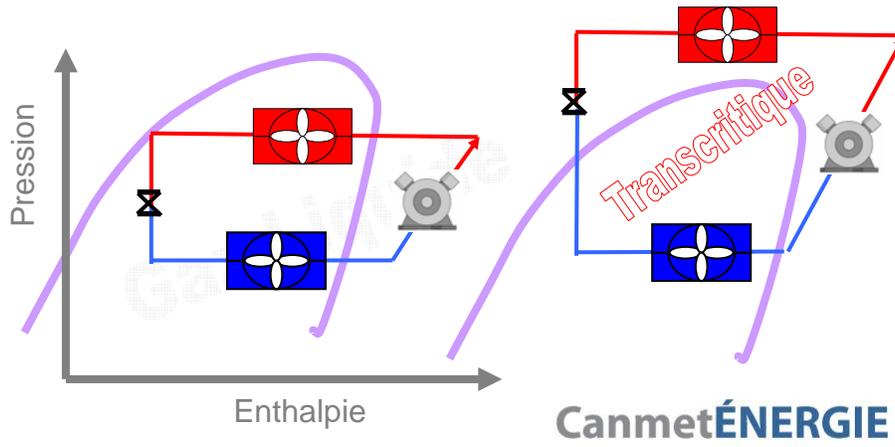
Natural Resources
Canada

36

Canada

Le cycle transcritique

La PAC à eau chaude Eco-Cute produit de l'eau chaude à 180 °F avec un COP de 4 à 8!



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

37

Canada

Pourquoi le CO₂ ?

Les arguments porteurs	Commercial	Industriel
Environnement Élimination progressive des substances qui affectent l'environnement, HCFC, HFC : (ODP (Ozone Depletion Potential), GWP (Global Warming Potential))		
Sécurité Toxicité et inflammabilité pour les systèmes utilisant des quantités importantes d'ammoniac		
Coûts <ul style="list-style-type: none"> • Réduction des coûts d'opération • Systèmes plus efficaces • Réduction du coût du réfrigérant. • Réduction du volume des composants 		

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

38

Canada

Conclusions

- Depuis 10 ans les produits disponibles pour les applications utilisant le CO₂ sont de plus en plus nombreux. Les applications couvrent tous les secteurs
- La réfrigération basse température et les pompes à chaleur sont particulièrement intéressants.
- Les pressions d'opération peuvent être élevées mais les équipements sont plus compacts et souvent plus efficaces.
- C'est un réfrigérant naturel, **sécuritaire** et peu coûteux
- Tous les manufacturiers d'équipements de réfrigération à travers le monde s'intéressent au CO₂ en tant que réfrigérant.

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

39

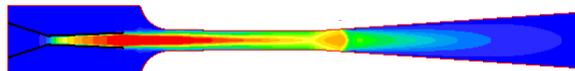
Canada

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Les éjecteurs



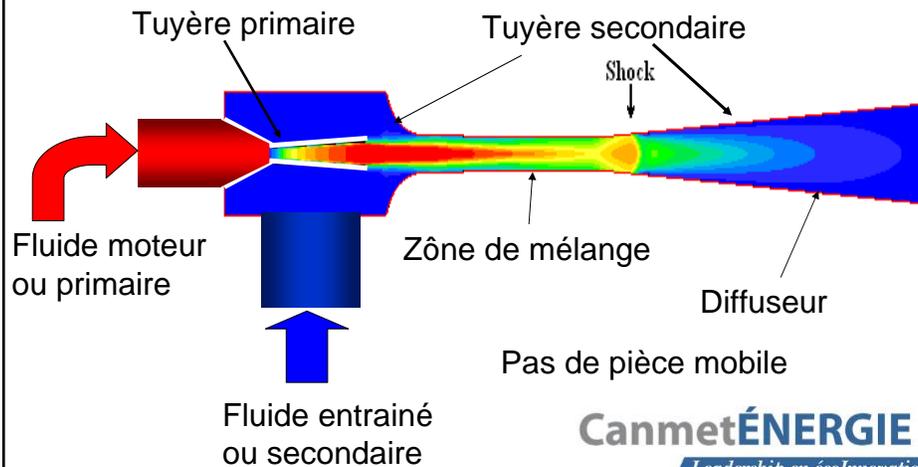
Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada

Éjecteur?

L'éjecteur convertit l'énergie cinétique en pression et en quantité de mouvement, C'est un thermocompresseur.



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



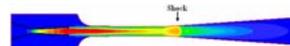
Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

41

Canada

Pourquoi les éjecteurs?



- Simples
- Pas de pièces mobiles
- Pas d'huile
- Grande variété de matériaux pour le construire
- Tous les gaz et les réfrigérants peuvent être utilisés

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

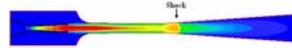


Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

42

Canada



Les faiblesses

- Opération peu flexible
- Efficacité apparente faible
- Peu connu, surtout appliqué pour la recompression de vapeur
- Conception complexe (écoulement supersonique)

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

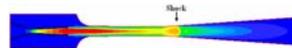


Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

43

Canada



Les applications

- Utiliser de effluents comme source d'énergie pour faire du froid
- Ou pour revaloriser de la chaleur par l'effet pompe à chaleur
- Trigénération

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



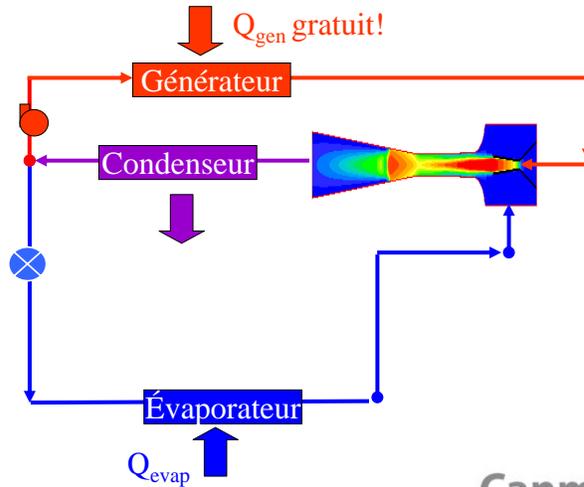
Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

44

Canada

Le cycle combiné tritherme



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



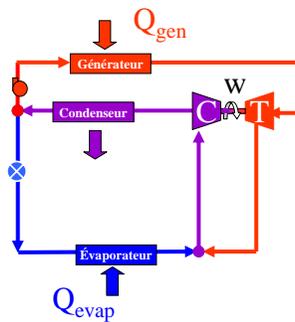
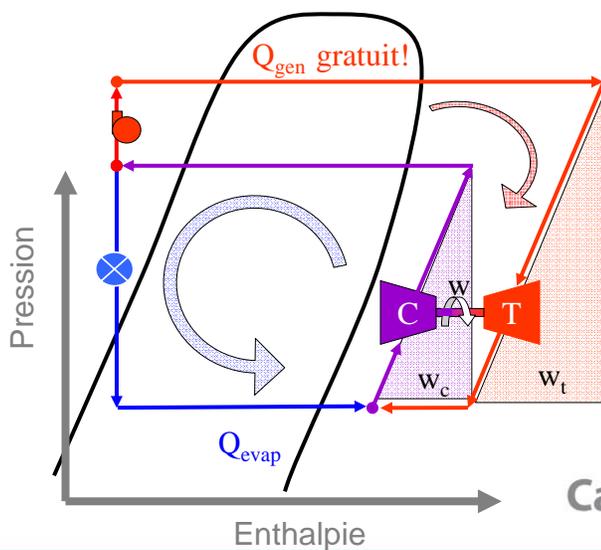
Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

45

Canada

Le rendement d'un cycle à éjecteur



$$\eta_{eject} = \frac{Q_{evap}}{Q_{gen}} \approx 0.5$$

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



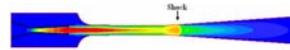
Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

46

Canada

Les applications



Intégrer au cycle de réfrigération
pour récupérer l'énergie de détente
et augmenter le COP

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



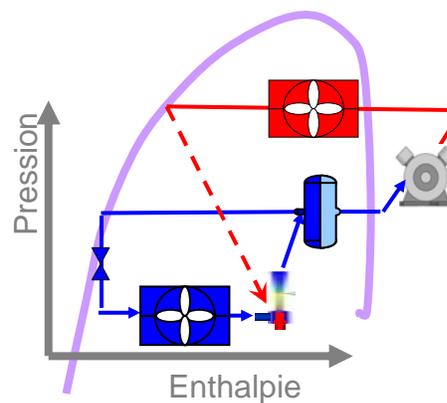
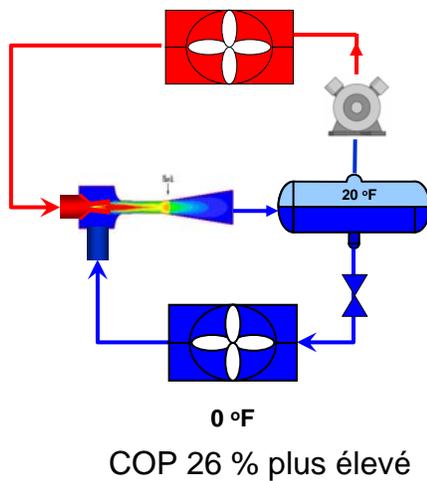
Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

47

Canada

Éjecteur détenteur



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

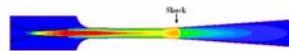


Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

48

Canada



Les applications

- Intégrer au cycle de réfrigération pour récupérer l'énergie de condensation pour augmenter la température de rejet thermique et le rendre ainsi utile pour la récupération de chaleur ou augmenter le COP du système de réfrigération

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



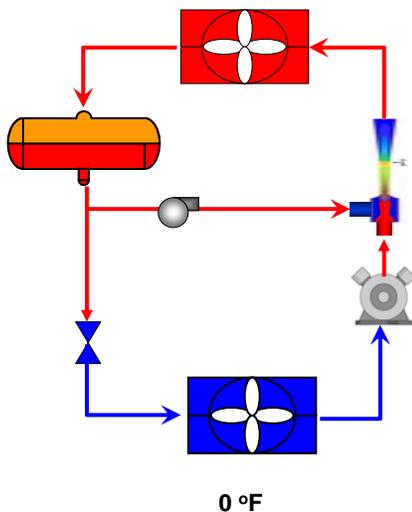
Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

49

Canada

Éjecteur condenseur



COP 20% plus élevé

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

50

Canada

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



Merci



Resources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada