

Les technologies innovatrices en réfrigération

Daniel Giguère, CanmetÉNERGIE-Varennnes, ASHRAE Montréal 18 janvier 2010



Le programme

- Contexte
- Coolsolution 
- La réfrigération au CO₂
- Les pompes à chaleur au CO₂
- Les éjecteurs en réfrigération
- Les coulis de glace

CanmetÉNERGIE
Leadership en écoInnovation

Contexte

- PIRAQ - Programmes d'intervention en efficacité énergétique (4 octobre 1999)
 - Fuite de réfrigérant, récupération de chaleur, pression de tête flottante et de sous-refroidissement
- PARB – Programme d'action en réfrigération pour les bâtiments – 2007 (OEE)
- OPTER – Programme d'optimisation en réfrigération (AEE - Agence de l'efficacité énergétique du Québec)- 2009

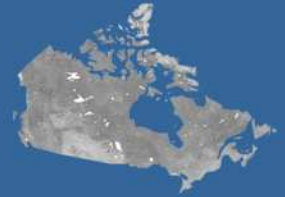
CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



COOL OLUTION

Systemes de réfrigération efficaces



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada



Systèmes de réfrigération efficaces

- Approche intégrée pour réduire la consommation d'énergie et les émissions de GES dans les applications où la consommation d'énergie du système de réfrigération est dominante

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

L'approche COOL SOLUTION

1. Réduire la quantité de réfrigérant de synthèse
2. Récupérer la chaleur rejetée par les systèmes de réfrigération
3. Favoriser l'utilisation de systèmes de réfrigération plus performants

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

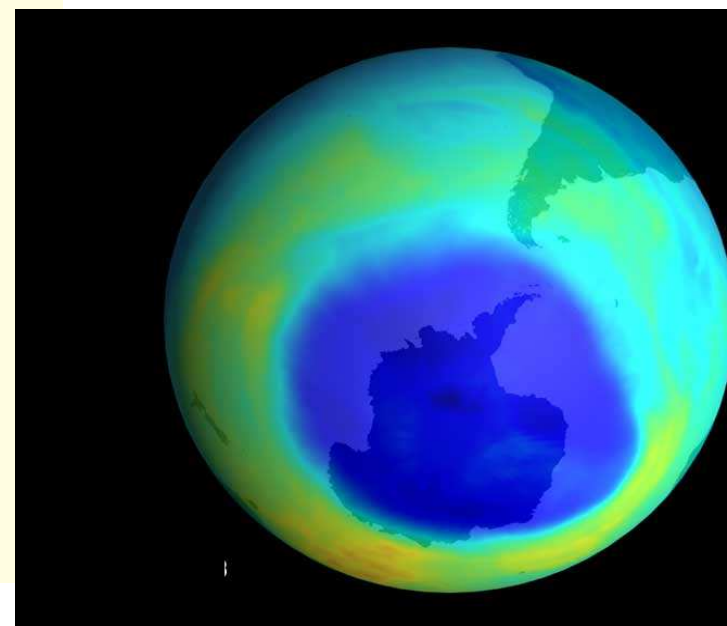
Pourquoi réduire la quantité de réfrigérant de synthèse?

Gaz	Potentiel de Réchauffement Global PRG (GWP) des réfrigérants HFC	PRG, forçage radiatif direct ^a
HFC		
HFC-23	14 310	± 5 000
HFC-143a	4 400	± 1 540
HFC-125	3 450	± 1 210
HFC-227ea	3 140	± 1 100
HFC-43-10mee	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

R404a = R 125/143a/134a

R410a = R 32/125

R507a = R 125/143a



HFO-1234yf

4

7

attention au fluorure d'hydrogène!!



Ressources naturelles
Canada

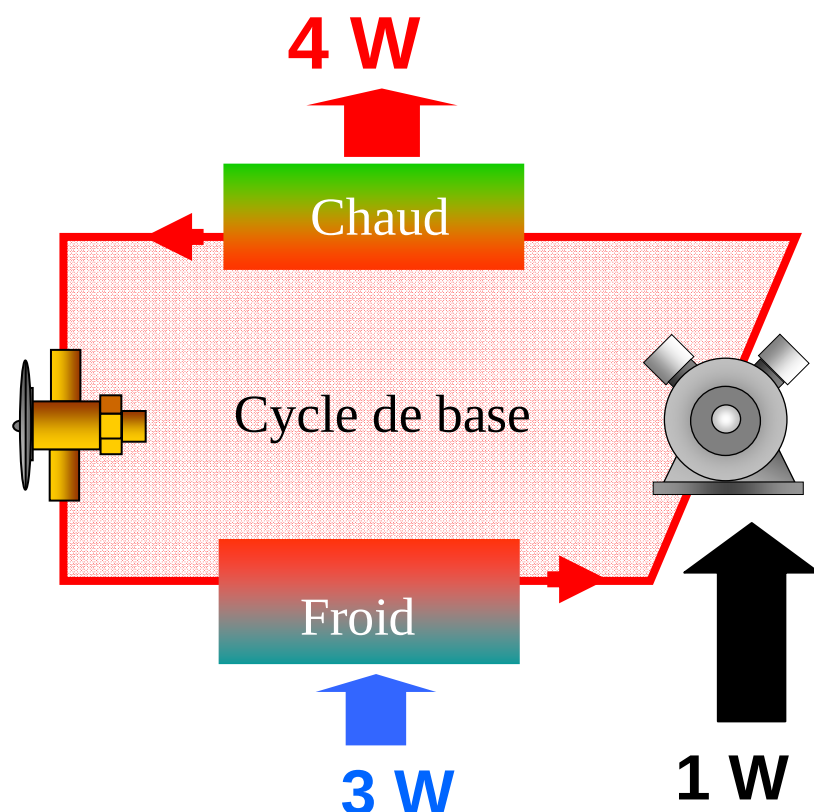
Natural Resources
Canada

ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



Canada

Récupérer la chaleur ou bien ?



Le système de réfrigération à compression rejette **3 à 4** fois plus d'énergie qu'il consomme

Quel est la meilleure stratégie?

- Diminuer de 25% la consommation du compresseur
- ou récupérer 50% de la chaleur rejetée au condenseur?

Systemes plus performants

Tirer le meilleur parti du climat canadien.

- Le froid gratuit
- La pression de condensation réduite au minimum
- Lorsque la température ambiante ne permet plus d'exploiter ces stratégies, le sous-refroidissement mécanique devient une mesure alternative intéressante.

CanmetÉNERGIE

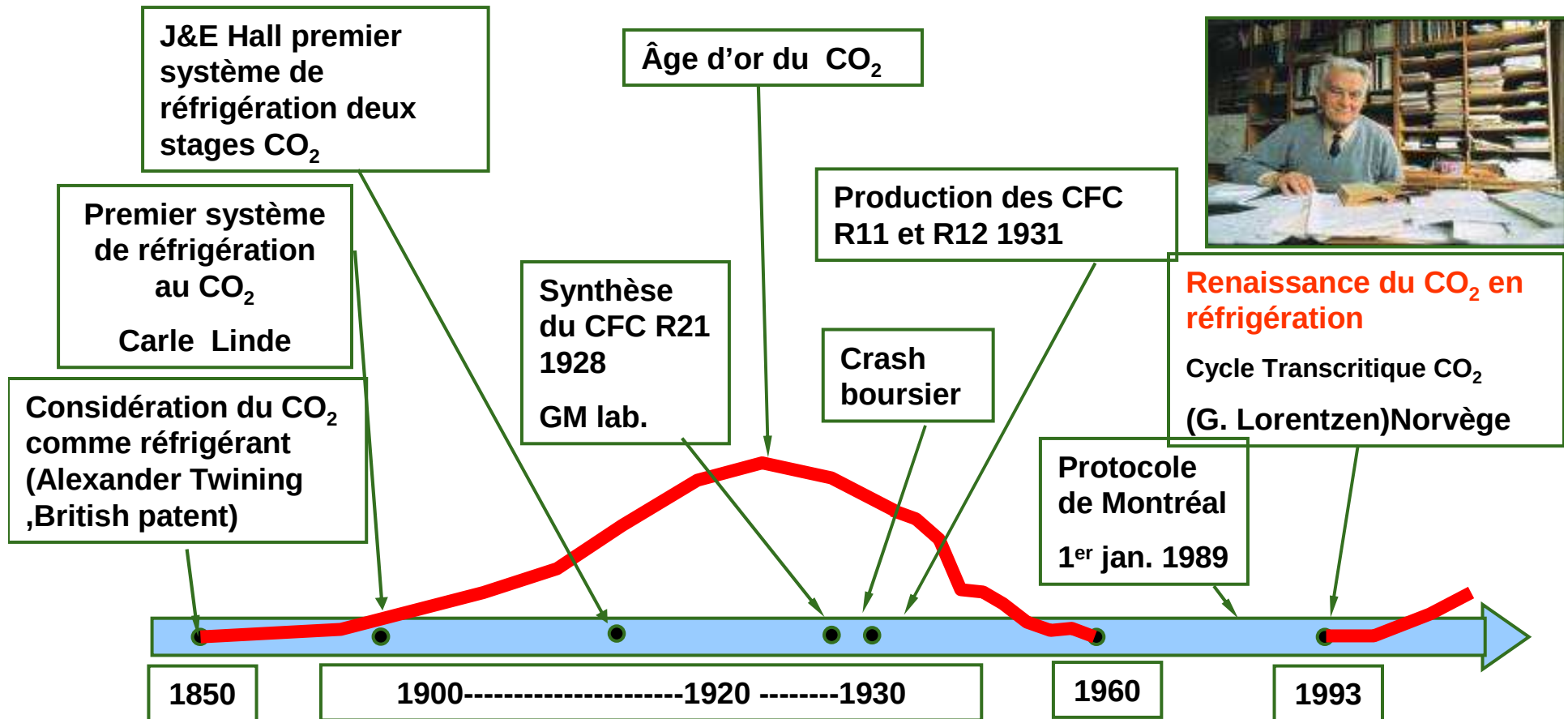
Leadership en écoInnovation



La réfrigération au CO₂



Histoire du CO₂



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

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

Propriétés comparées

Code du Réfrigérant	R404A	NH ₃	CO ₂
Type de Réfrigérant	HFC	naturel	naturel
Ozone Depletion Potential ODP	0	0	0
Global Warming Potential GWP	3260	-	1
Condition Critique [psig]/ [°F]	541 / 162	1640 / 270	1067 / 88
Température d'ébullition à 0 psig [°F]	-50 °F	-28 °F	-69 °F
Température d'ébullition à 400 psig [°F]	140 °F	147 °F	19 °F
BTU / PIED CUBE à -40 év. / 20 co. [°F]	29	21	176
ΔTsaturée / ΔP = 1 psi à -40 [°F]	-2.1 °F	-3.4 °F	0.3 °F
Inflammabilité	NON	(peu)	NON
Toxicité (à 400 ppm)	NON	OUI	NON

Le CO₂ peut être purgé à l'atmosphère **CanmetÉNERGIE**

12

Leadership en écoInnovation

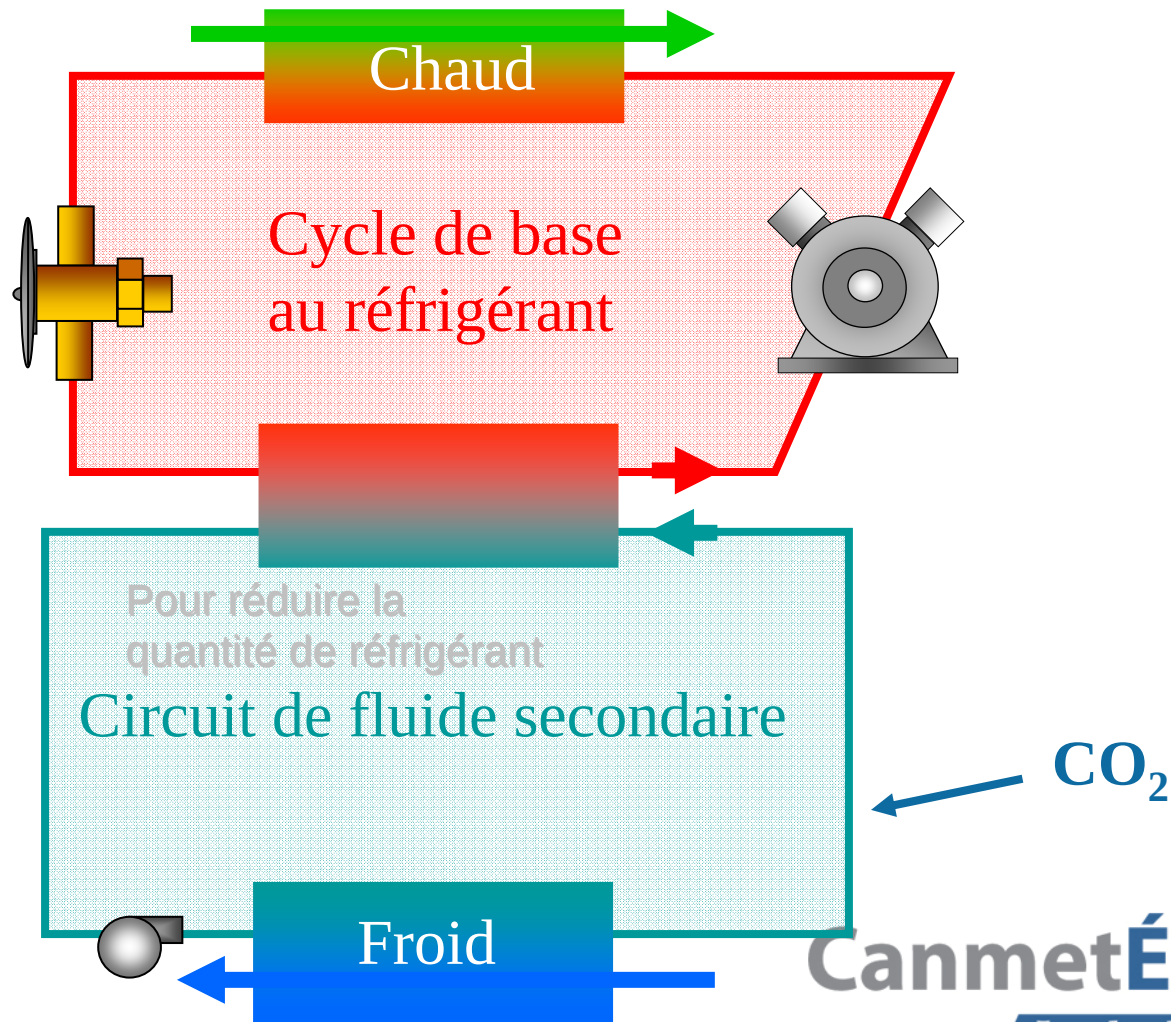


Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada

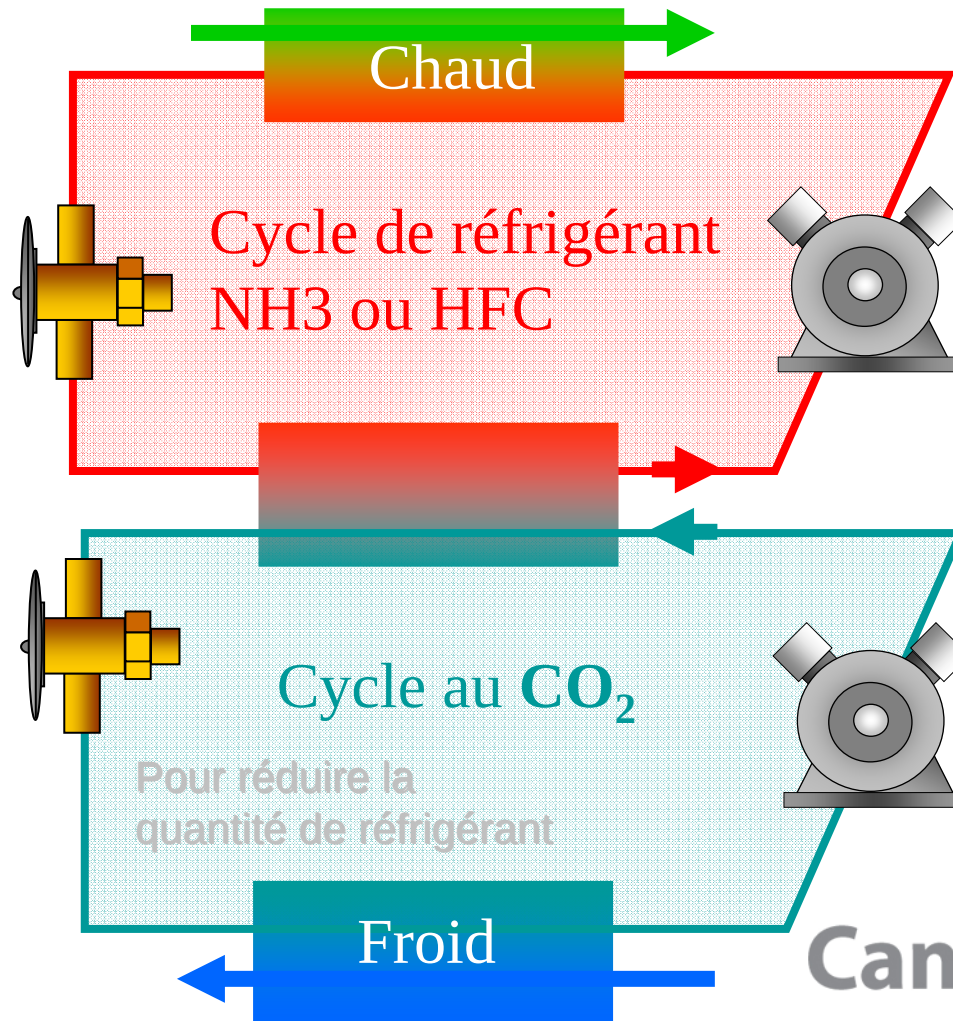
Le cycle de base avec fluide secondaire



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

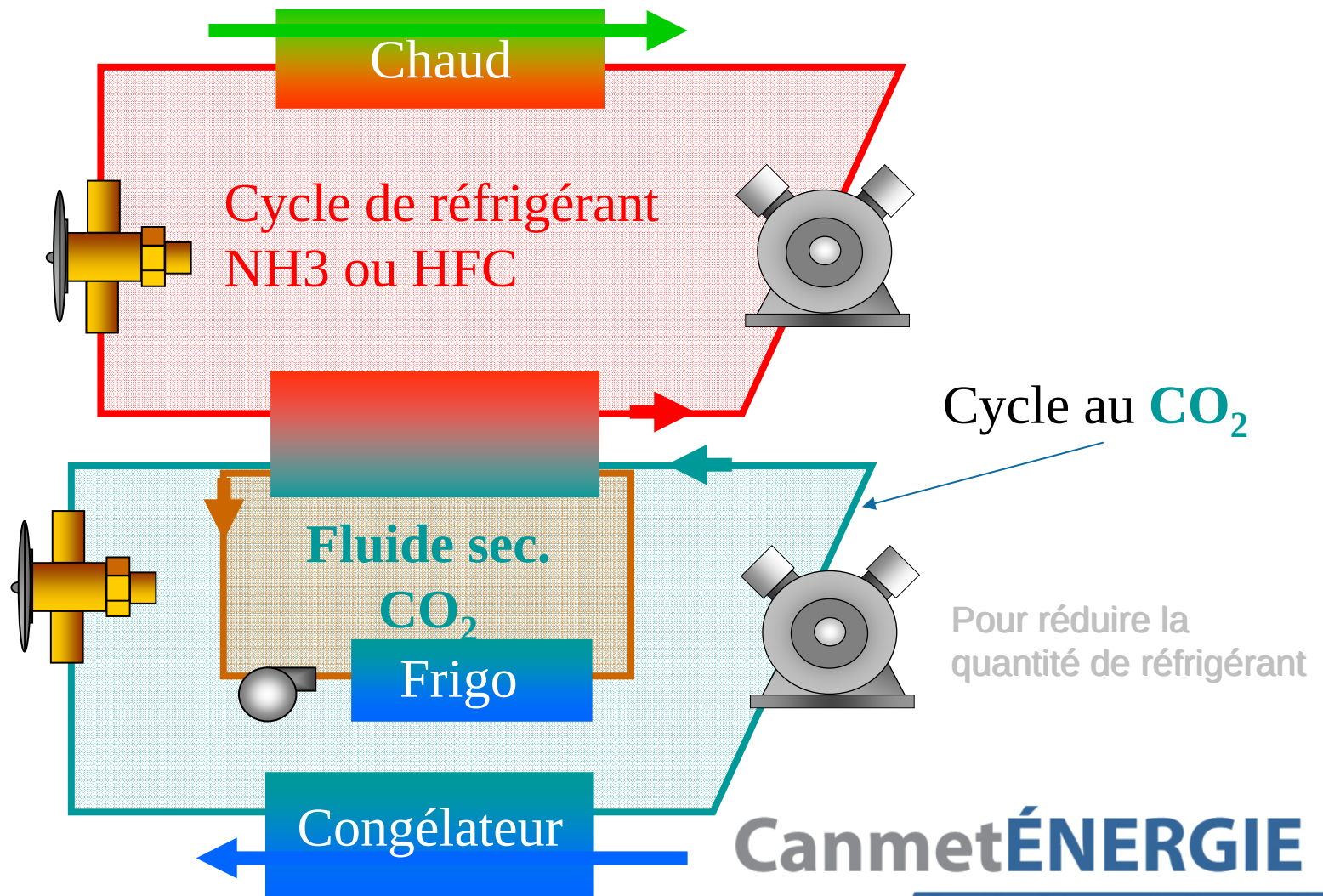
Le cycle cascade réfrigérant et CO₂



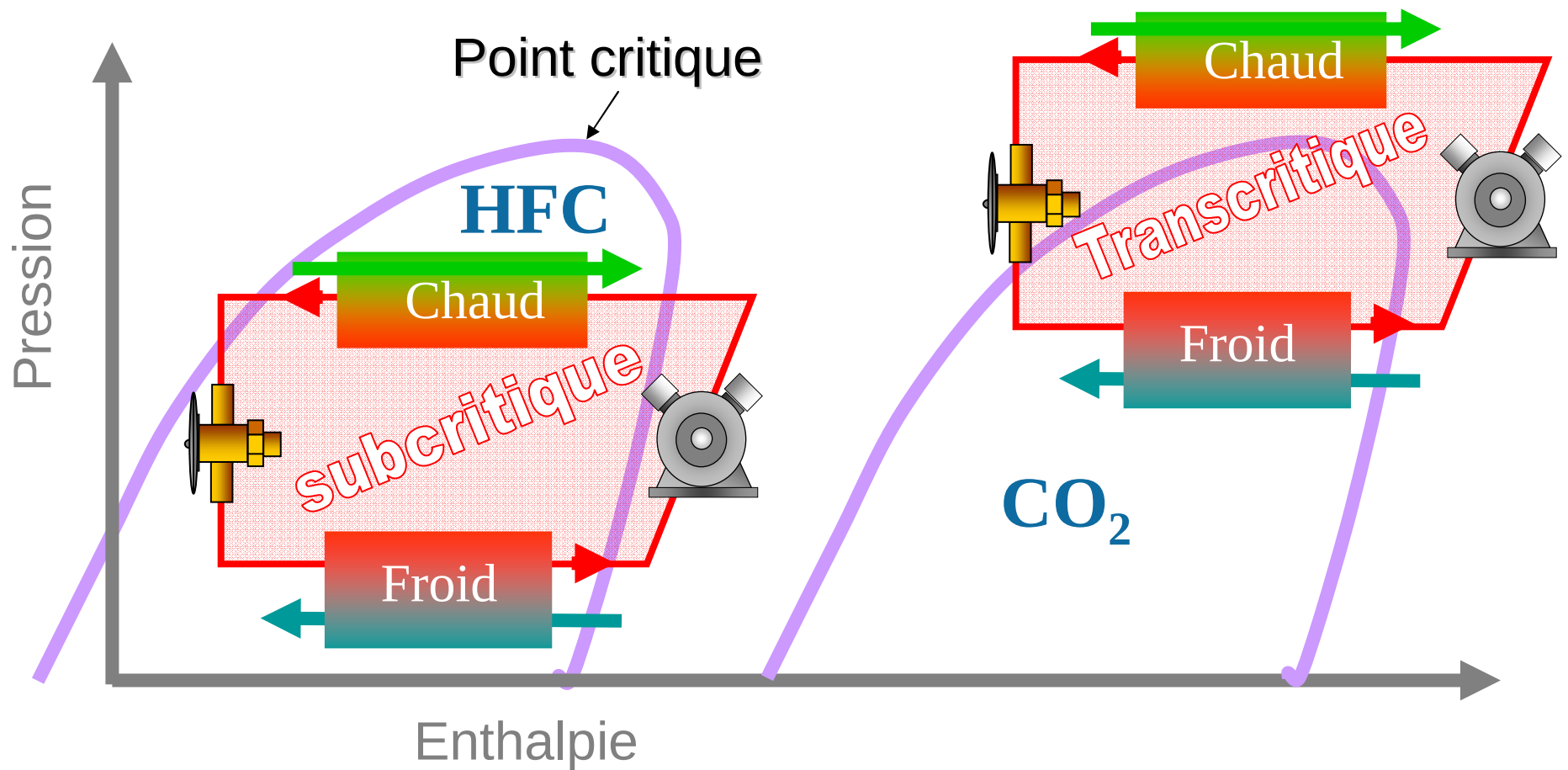
CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

Le cycle cascade réfrigérant et CO₂ et fluide secondaire



Le cycle transcritique



CanmetÉNERGIE

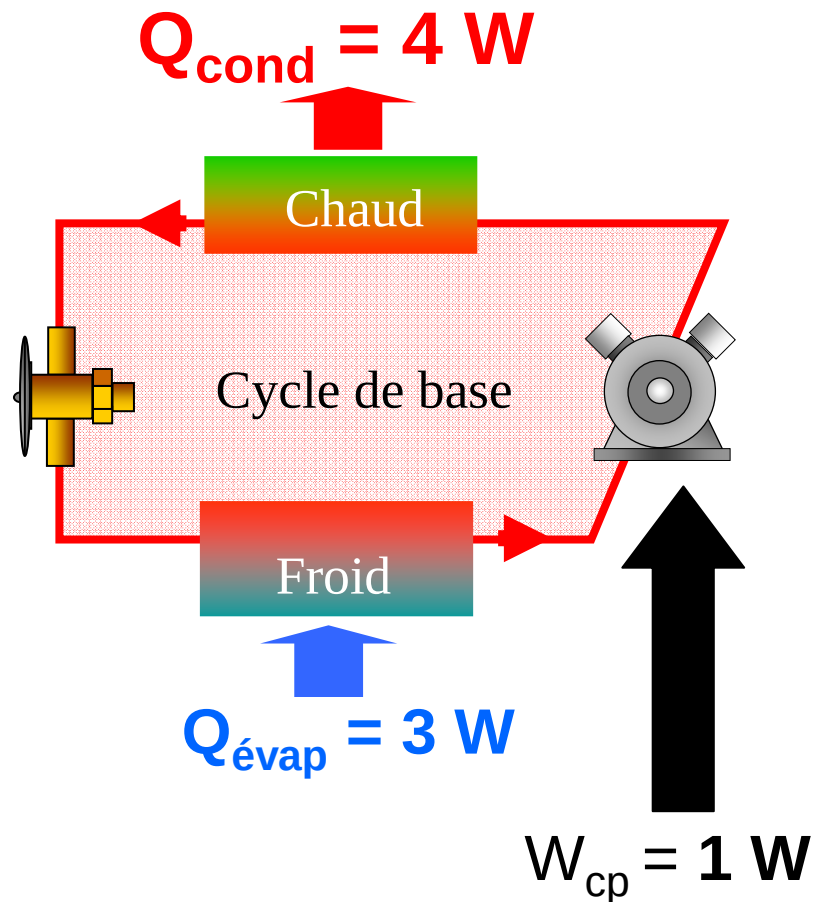
Leadership en écoInnovation



Les pompes à chaleur au CO₂



Deux définitions du COP



Le COP_h de chauffage

$$\text{COP}_h = Q_{\text{cond}} / W_{\text{cp}}$$

$$\text{COP}_h = 4 / 1$$

$$\text{COP}_h = 4$$

Le COP_t total

$$\text{COP}_t = (Q_{\text{cond}} + Q_{\text{évap}}) / W_{\text{cp}}$$

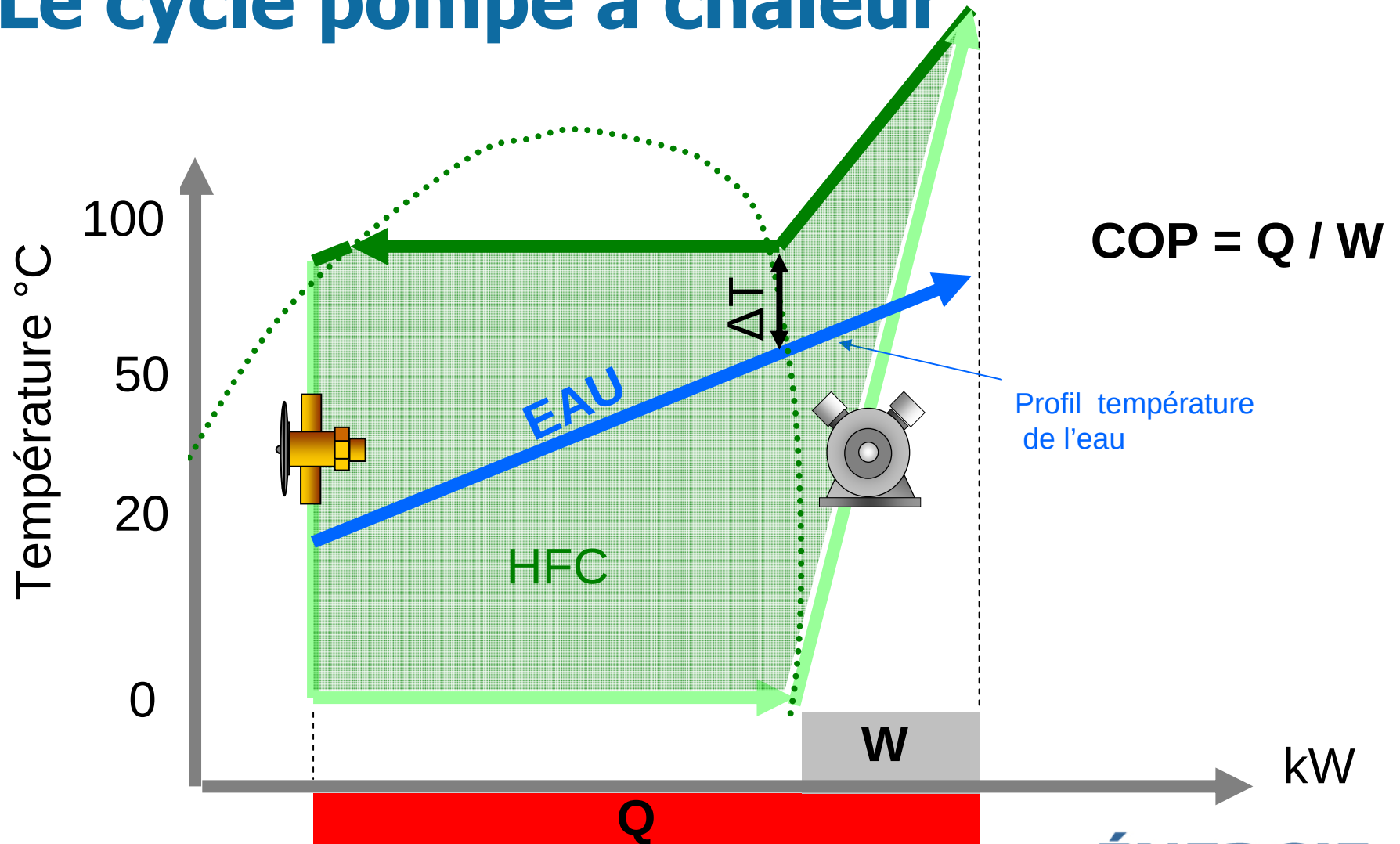
$$\text{COP}_t = (4 + 3) / 1$$

$$\text{COP}_t = 7$$

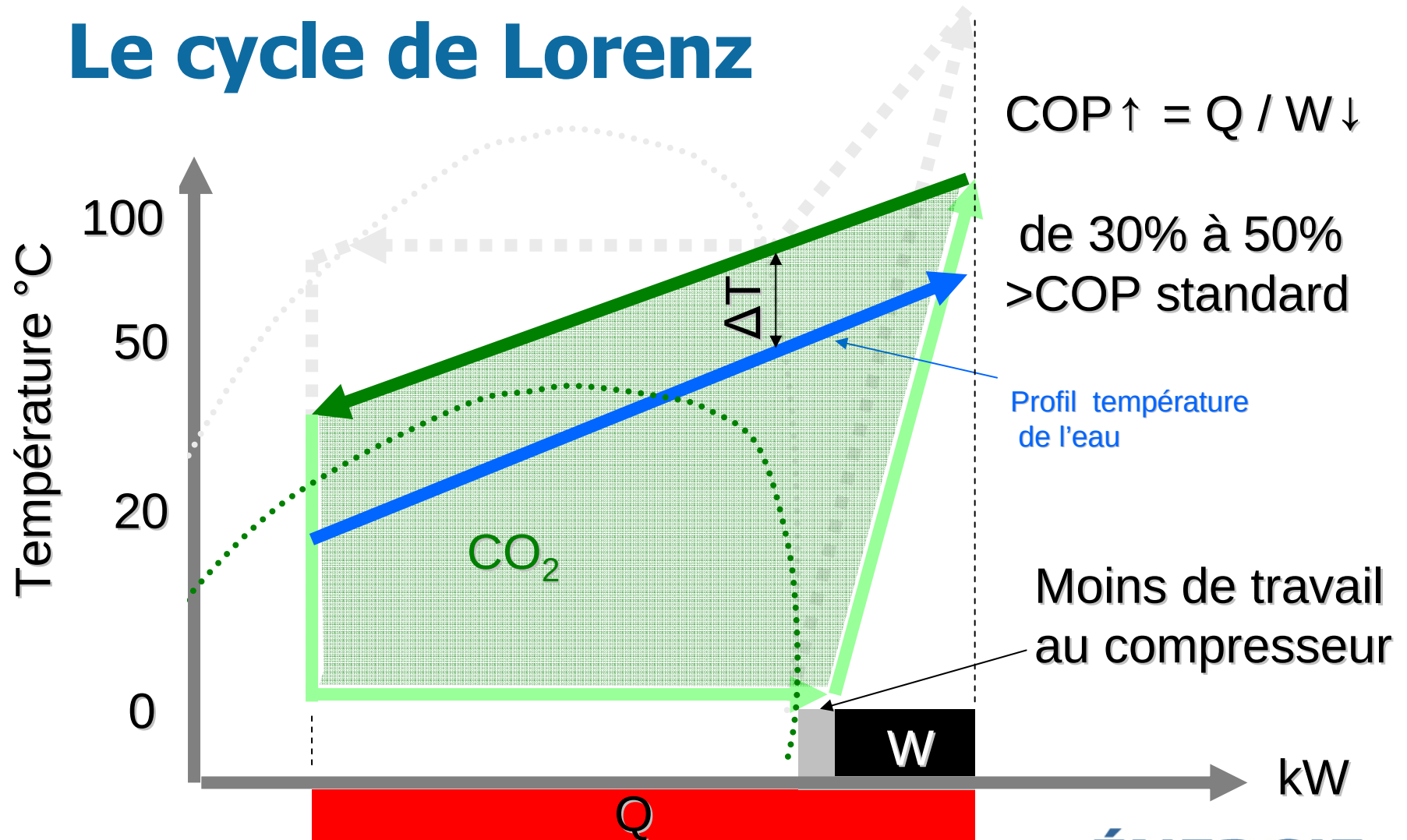
CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

Le cycle pompe à chaleur



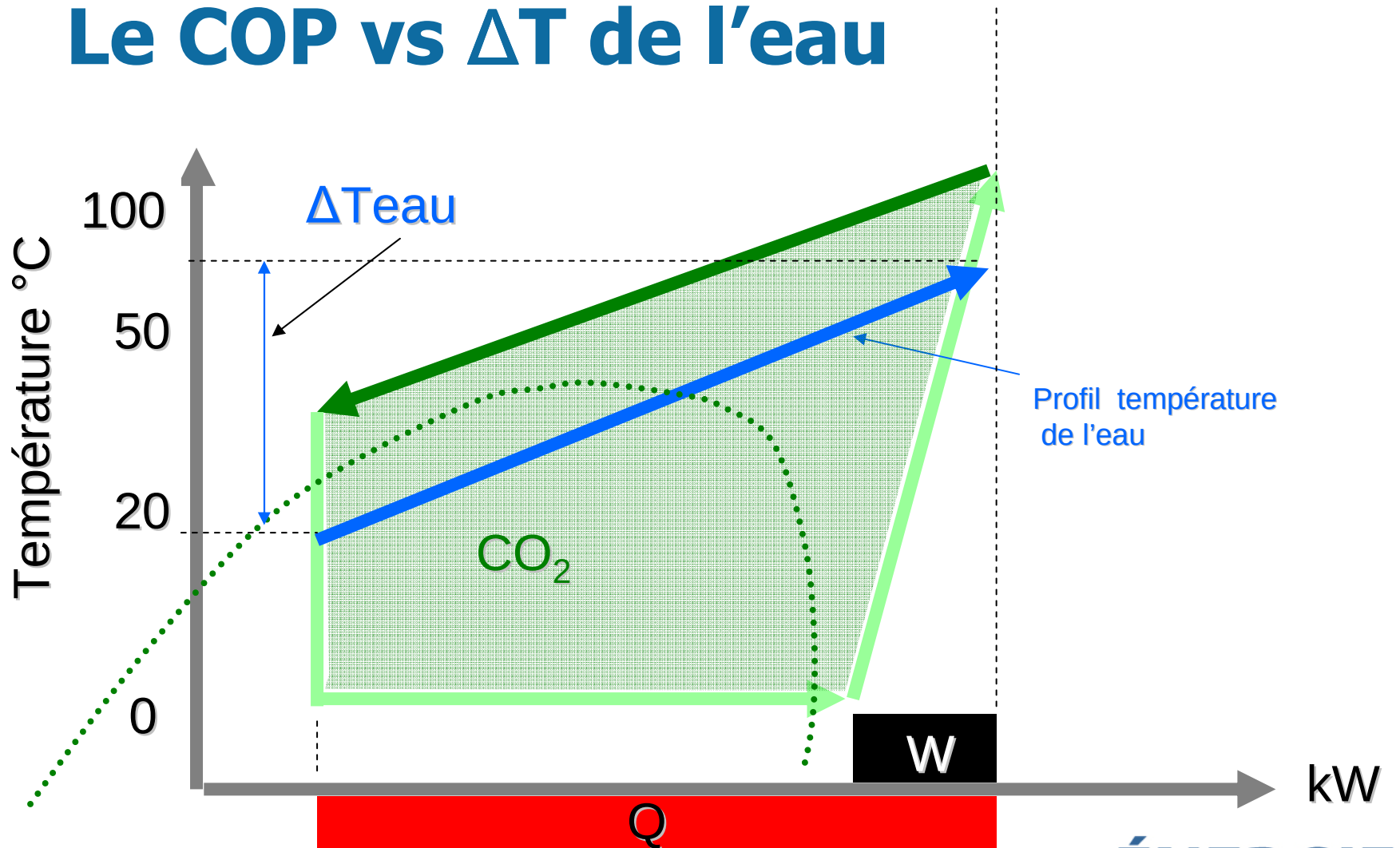
Le cycle de Lorenz



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

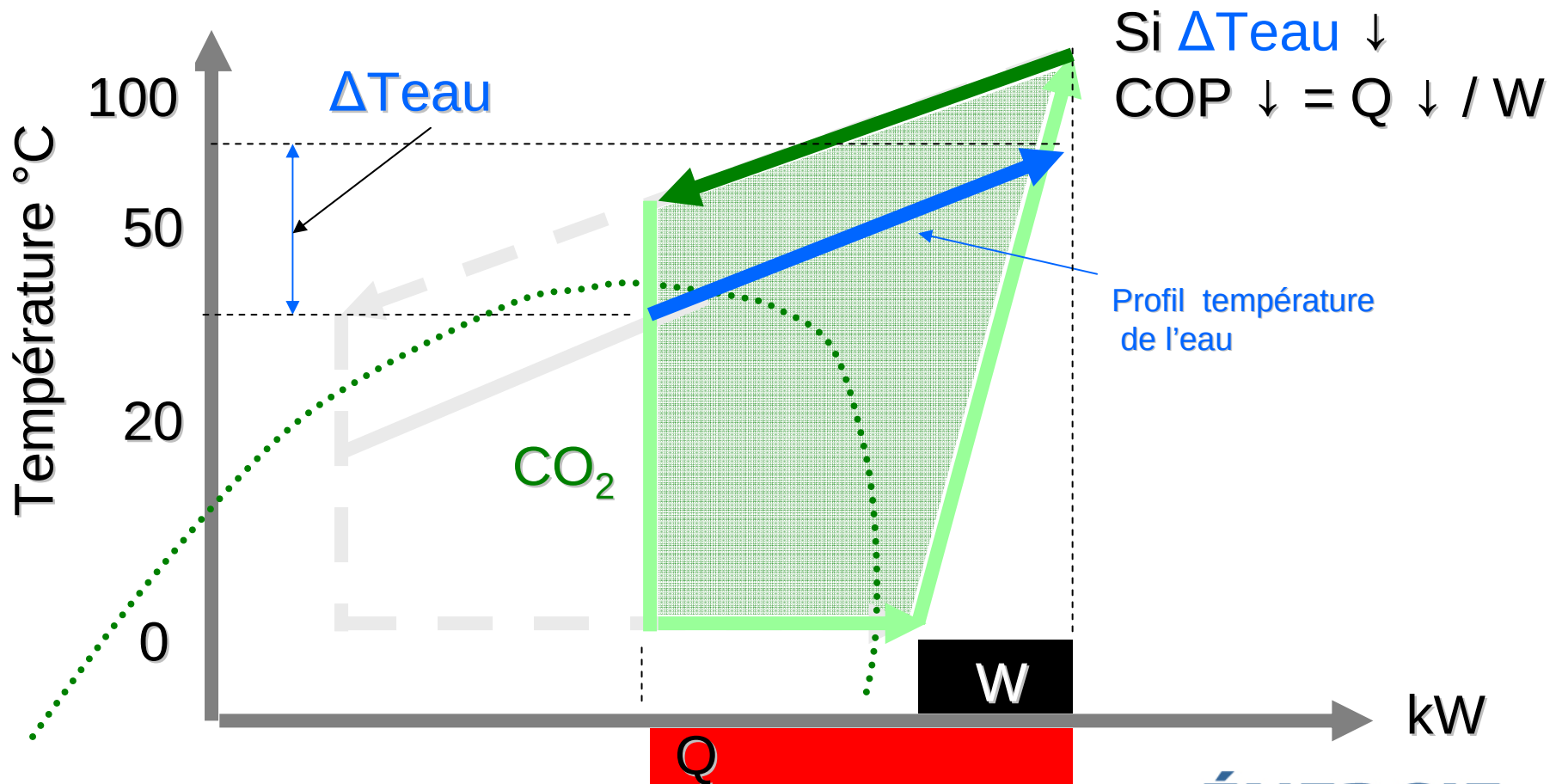
Le COP vs ΔT de l'eau



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

Le COP vs ΔT de l'eau



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

Une pompe à chaleur au CO₂

Table.1 Main features of the water heat source

Item	Features
Hot water and cold water supplied simultaneously	65~90°C hot water, -9~17°C Cold water
Capacity	Heating: 100kW
High efficiency	Simultaneous hot cold water supply COP8.0
High temp water supplied	65°C~90°C
Environment friendly	Natural refrigerant CO ₂ used
Can be used for waste heat recovery	Waste water of 37°C can be used



Pompe à chaleur au CO₂ de 4000 kW

Basic Specifications

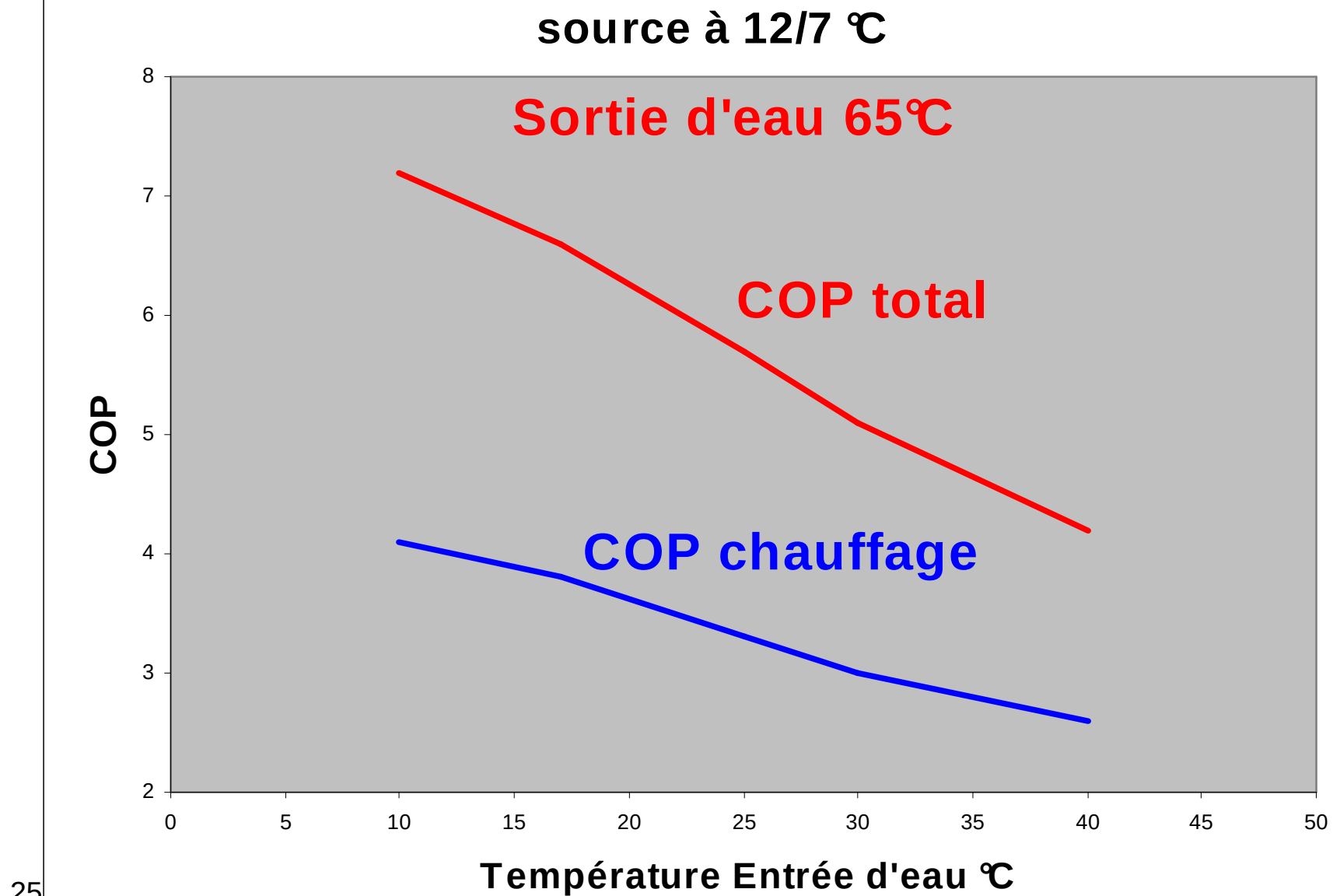
Main features are:

- **Design:** screw compressor
- **Heat output:** 750 to 4000 kW
- **Outlet temperature:** up to 80°C
- **Temperature of heat source:** approx. 8 to 35°C
- **COP heating:** max. 4.5
- **COP heating and chilling service:** max 7.0
- **Dimensions:** 5,500 x 3,300 x 2,800mm



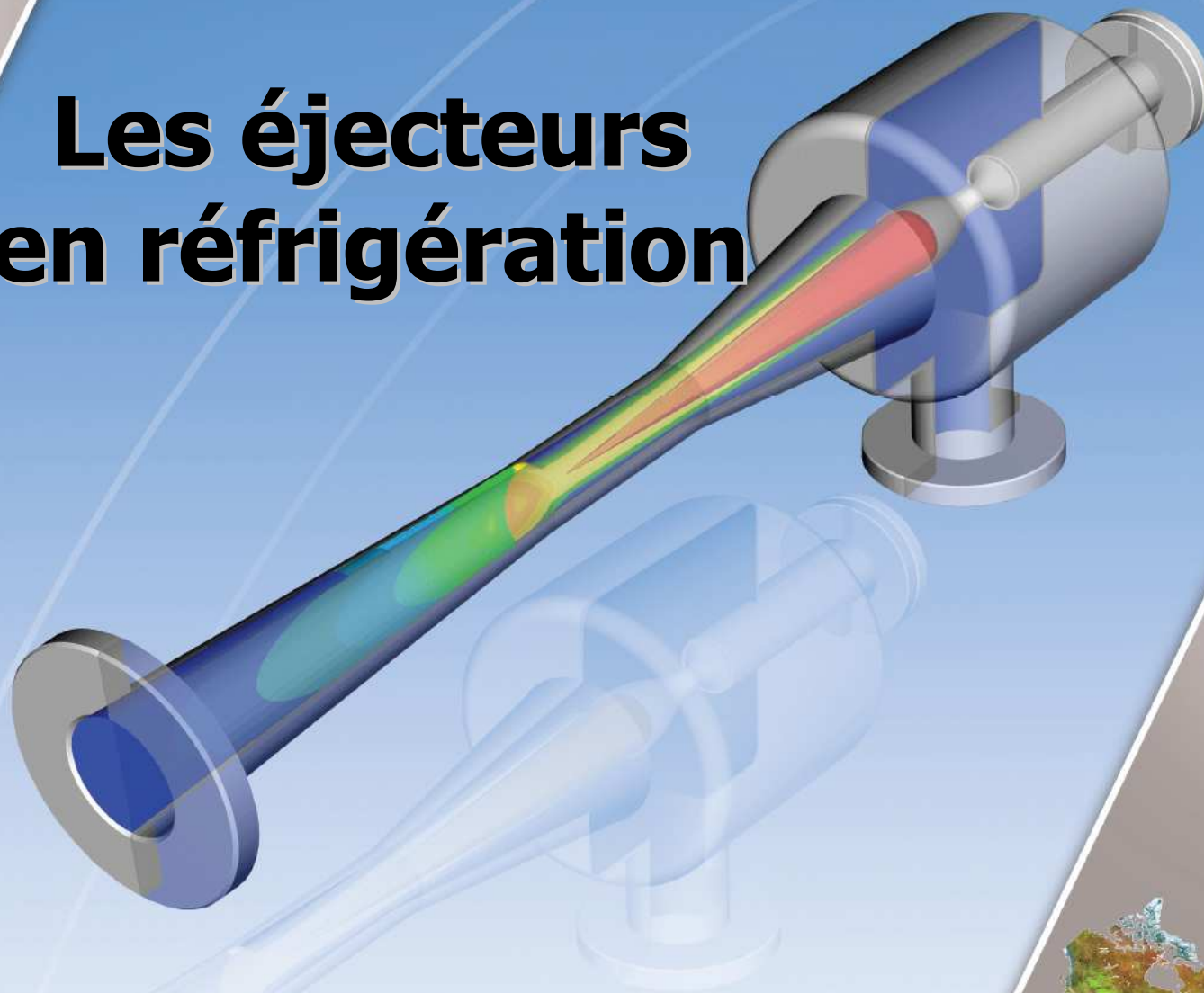
CanmetENERGIE

Leadership en écoInnovation



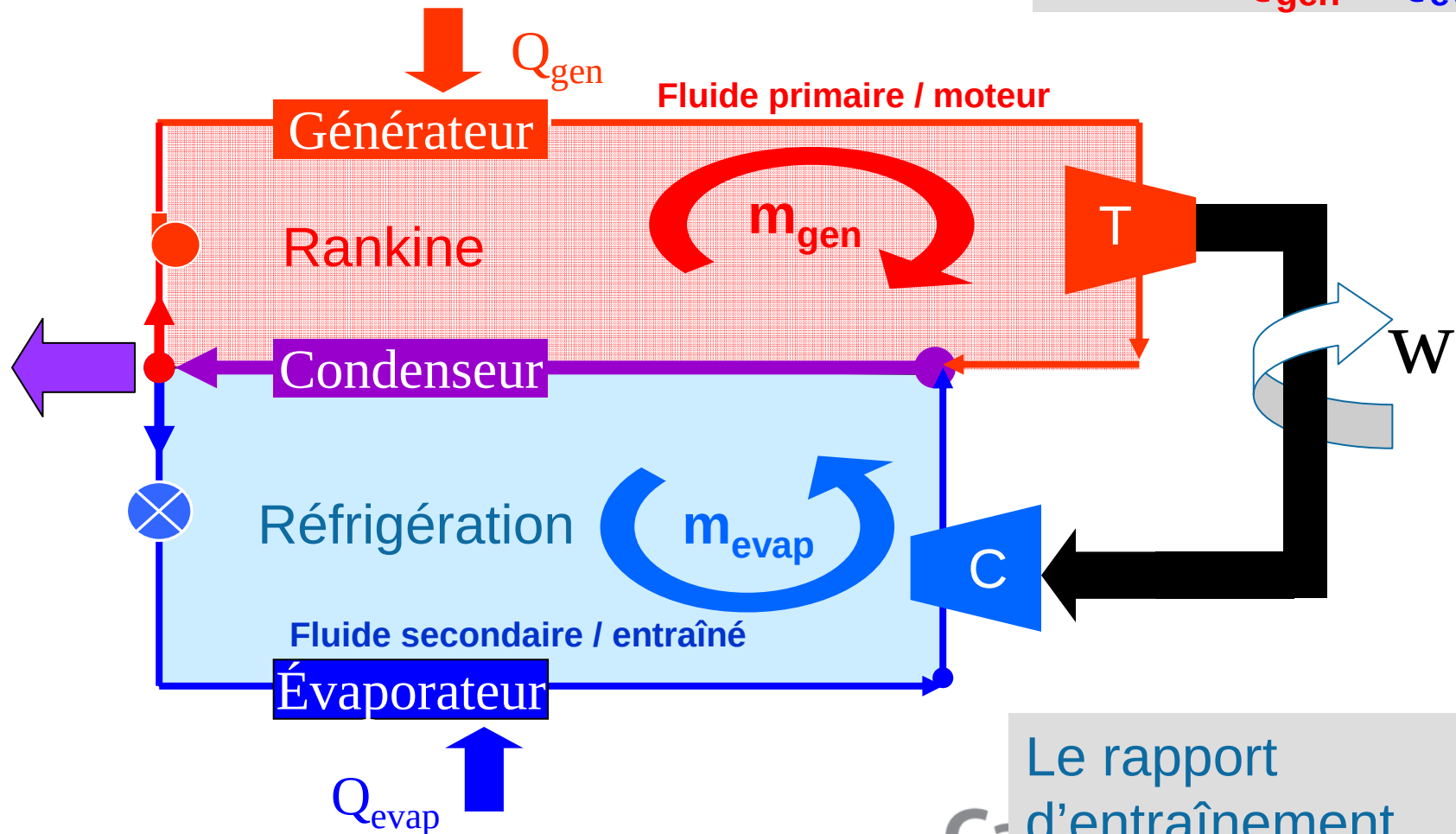


Les éjecteurs en réfrigération



Le cycle combiné Rankine - réfrigération

$$\text{COP} = Q_{\text{gen}} / Q_{\text{evap}}$$

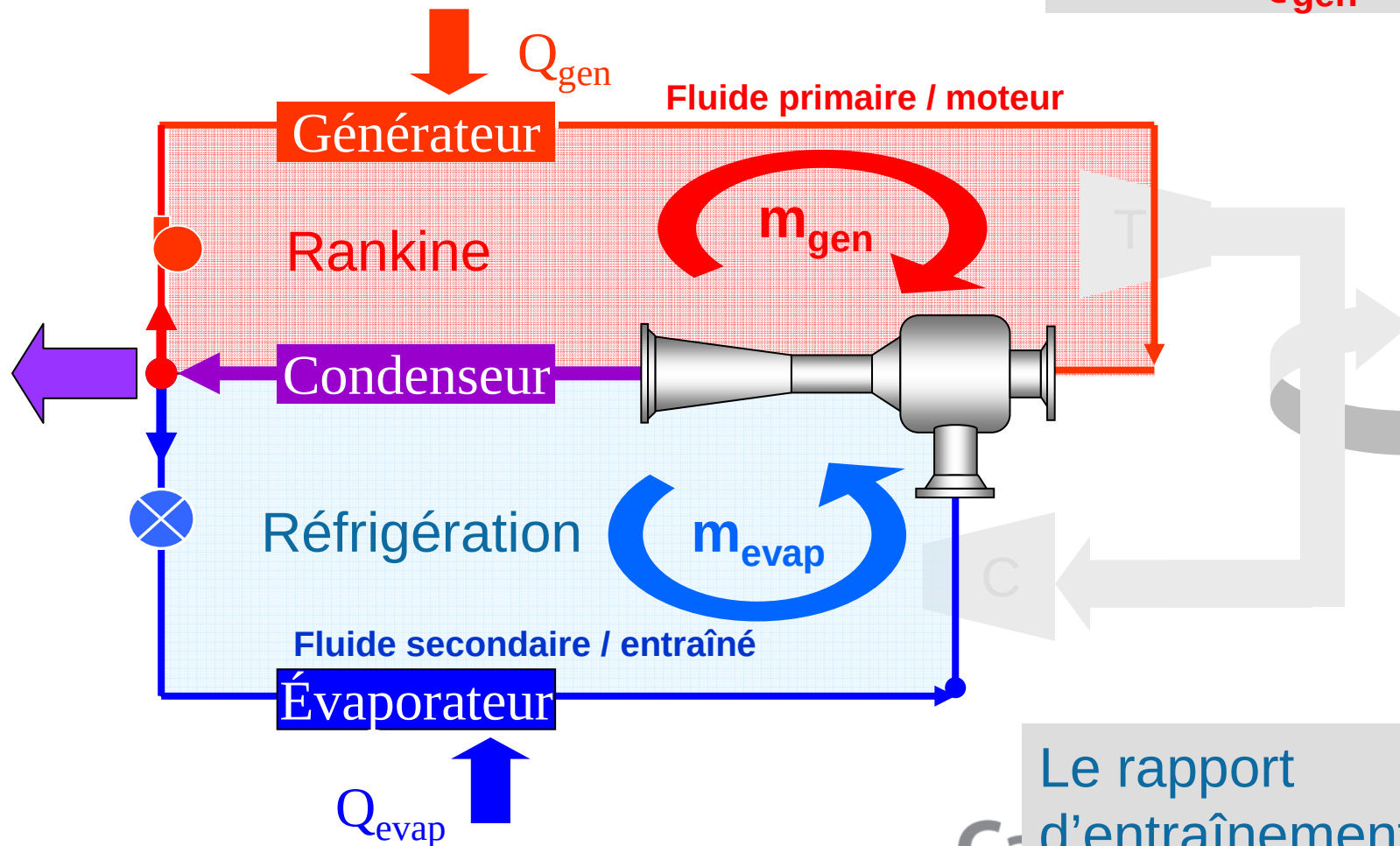


Le rapport d'entraînement

$$R = m_{\text{gen}} / m_{\text{evap}}$$

Le système à éjecteur

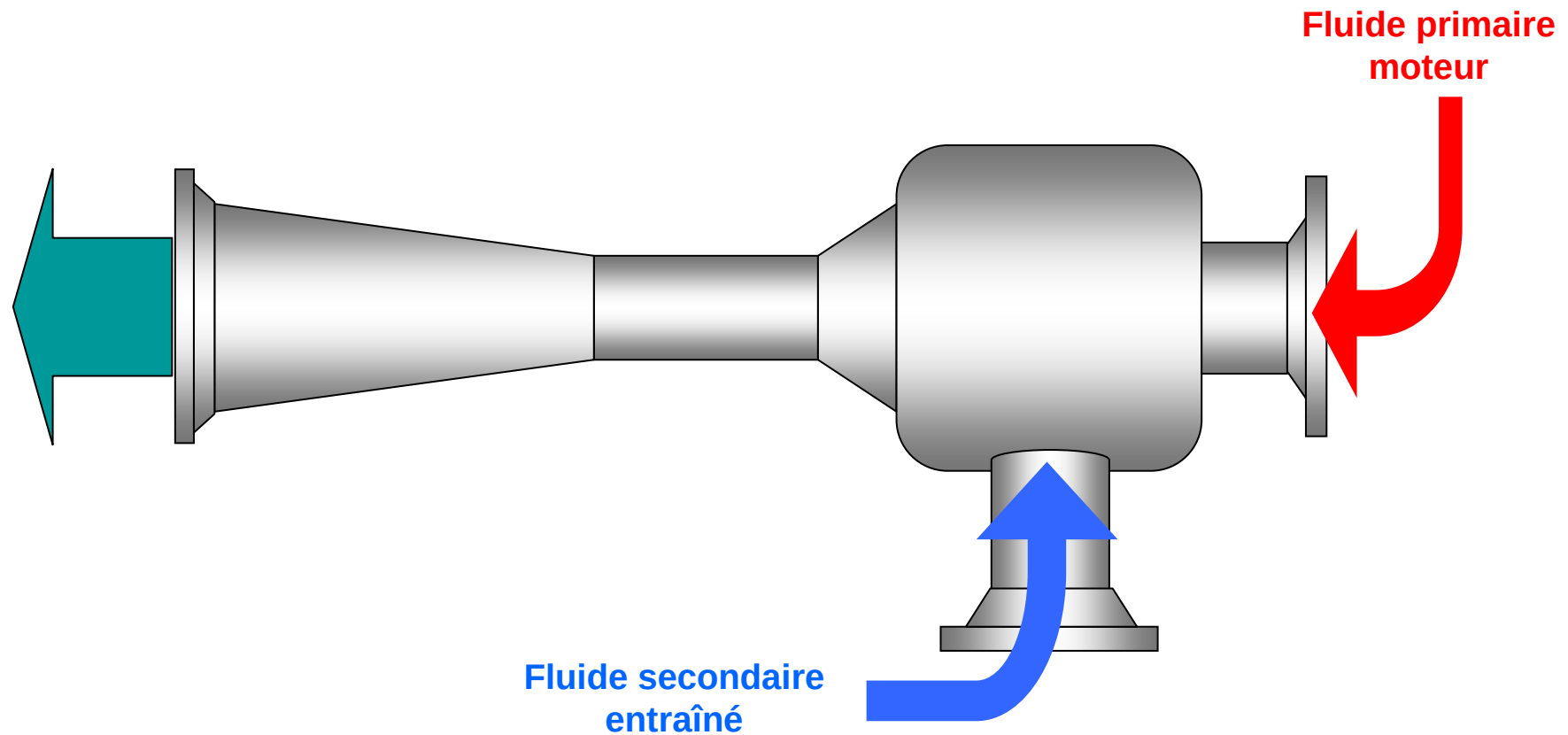
$$\text{COP} = Q_{\text{gen}} / Q_{\text{evap}}$$



Le rapport d'entraînement

$$R = m_{\text{gen}} / m_{\text{evap}}$$

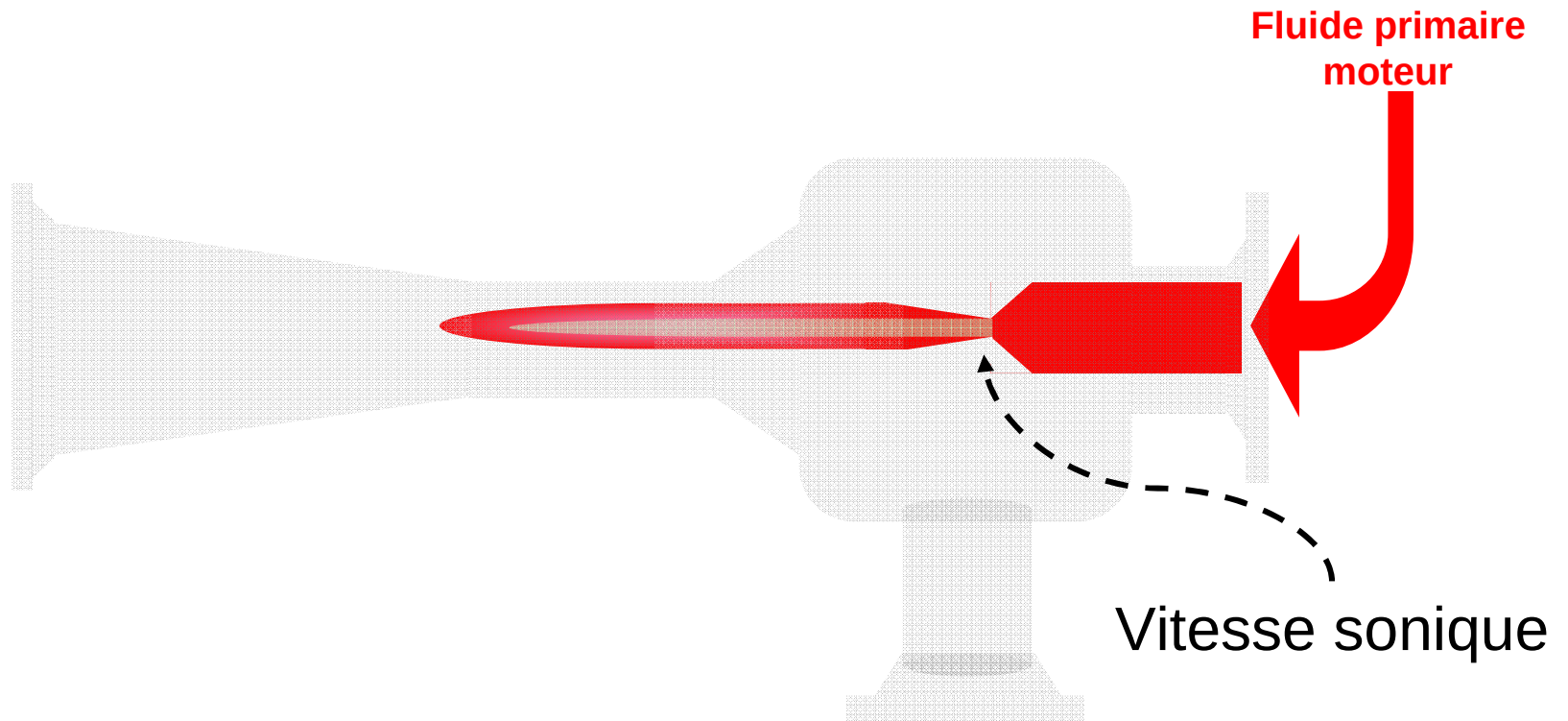
L' éjecteur



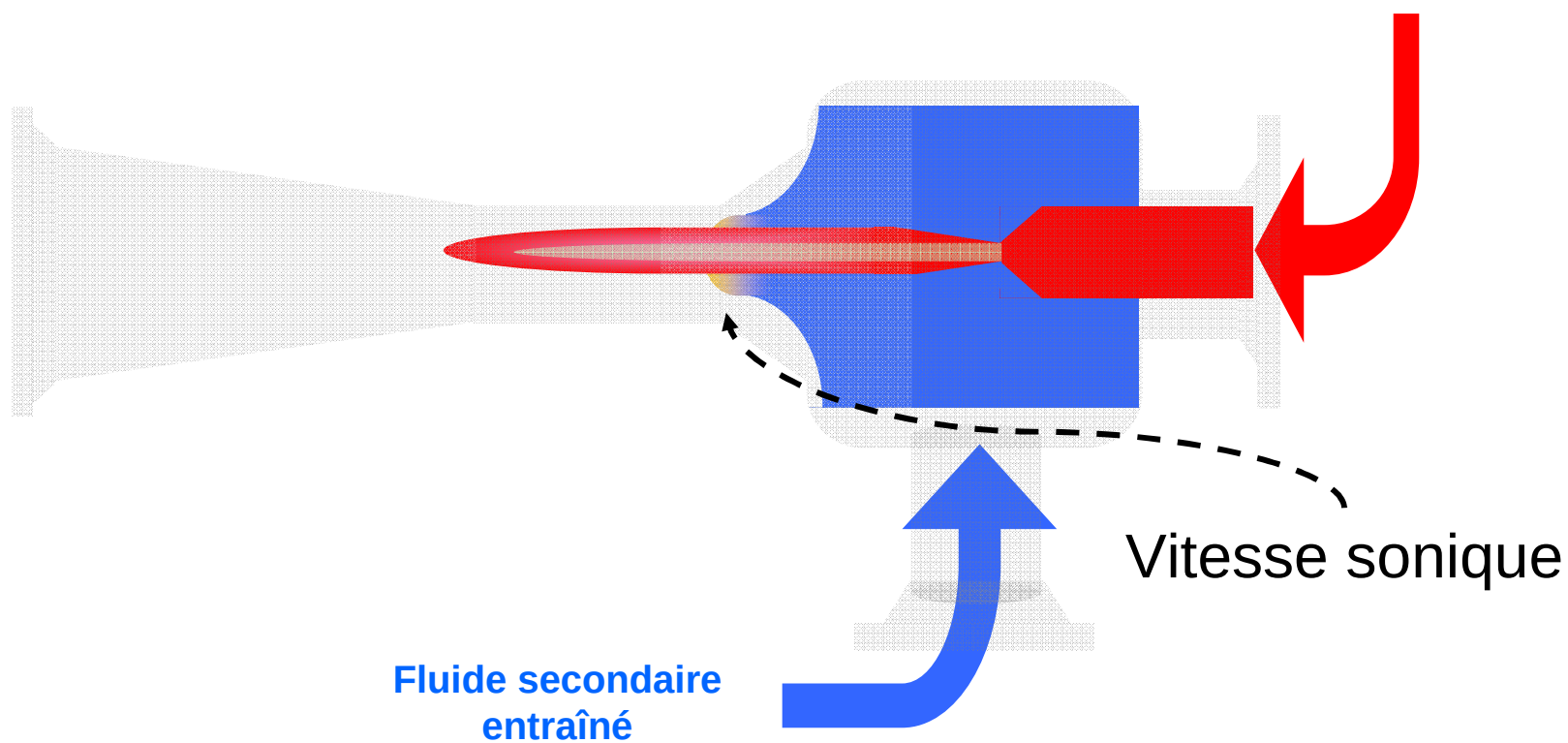
CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

Tuyère primaire (fluide moteur)



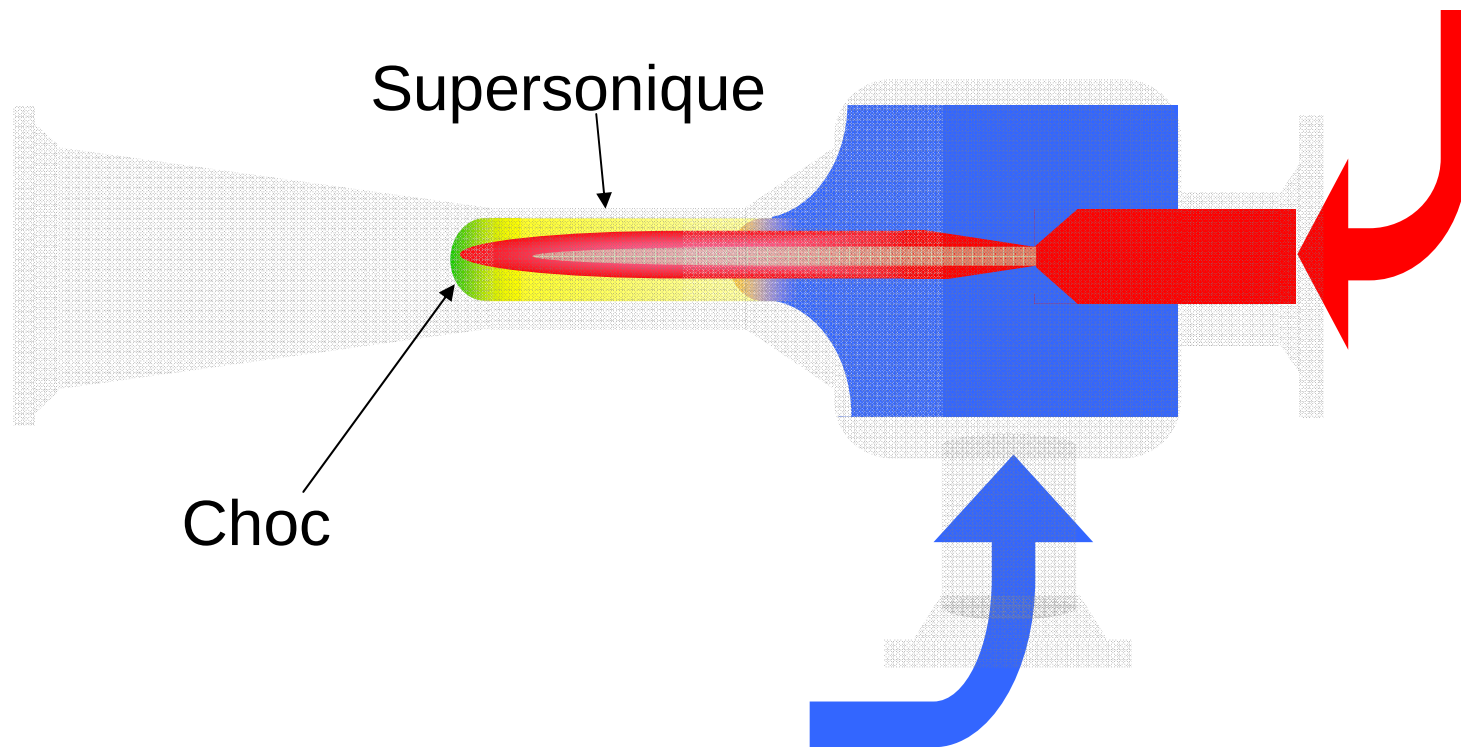
Tuyère secondaire (fluide entraîné)



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

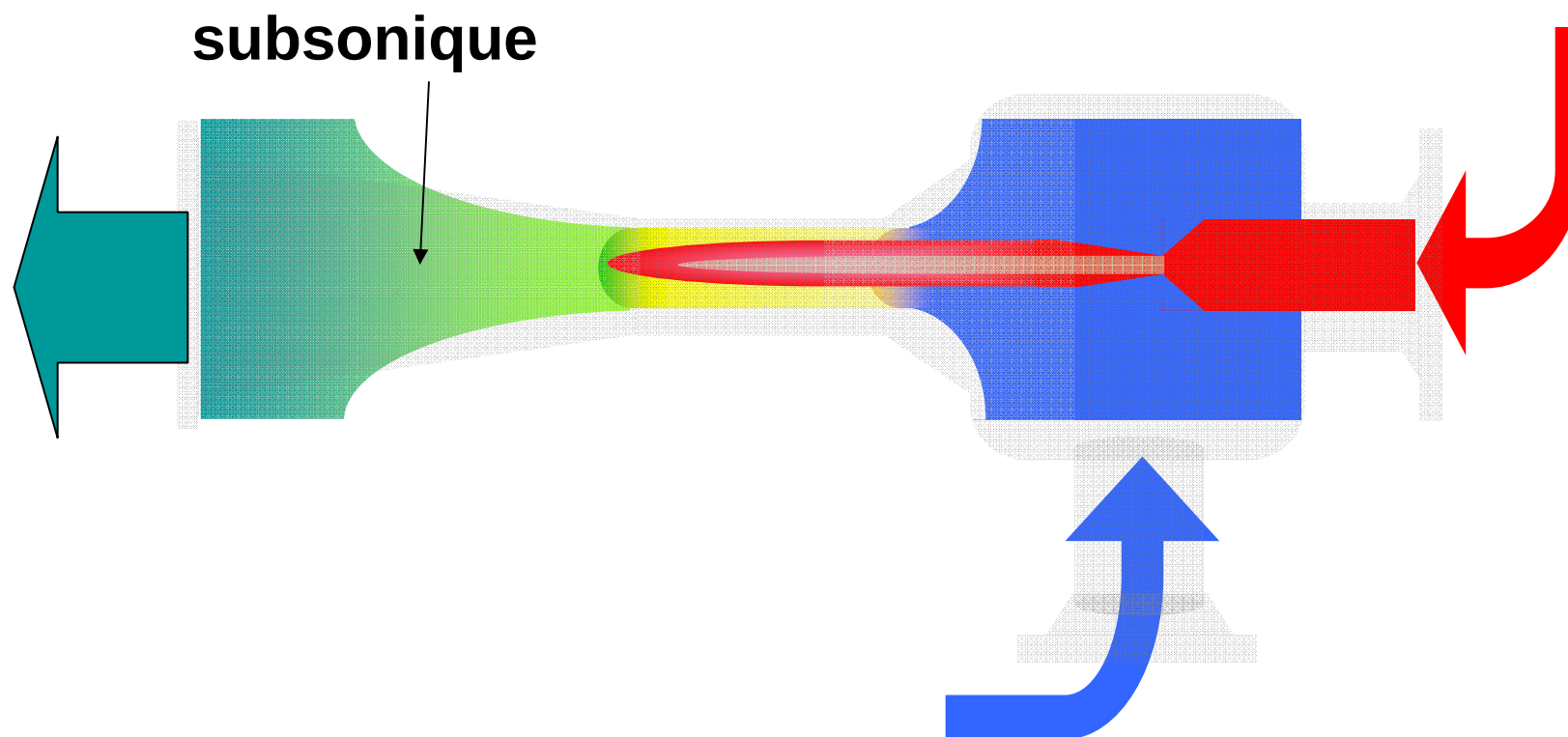
Zone de mélange



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

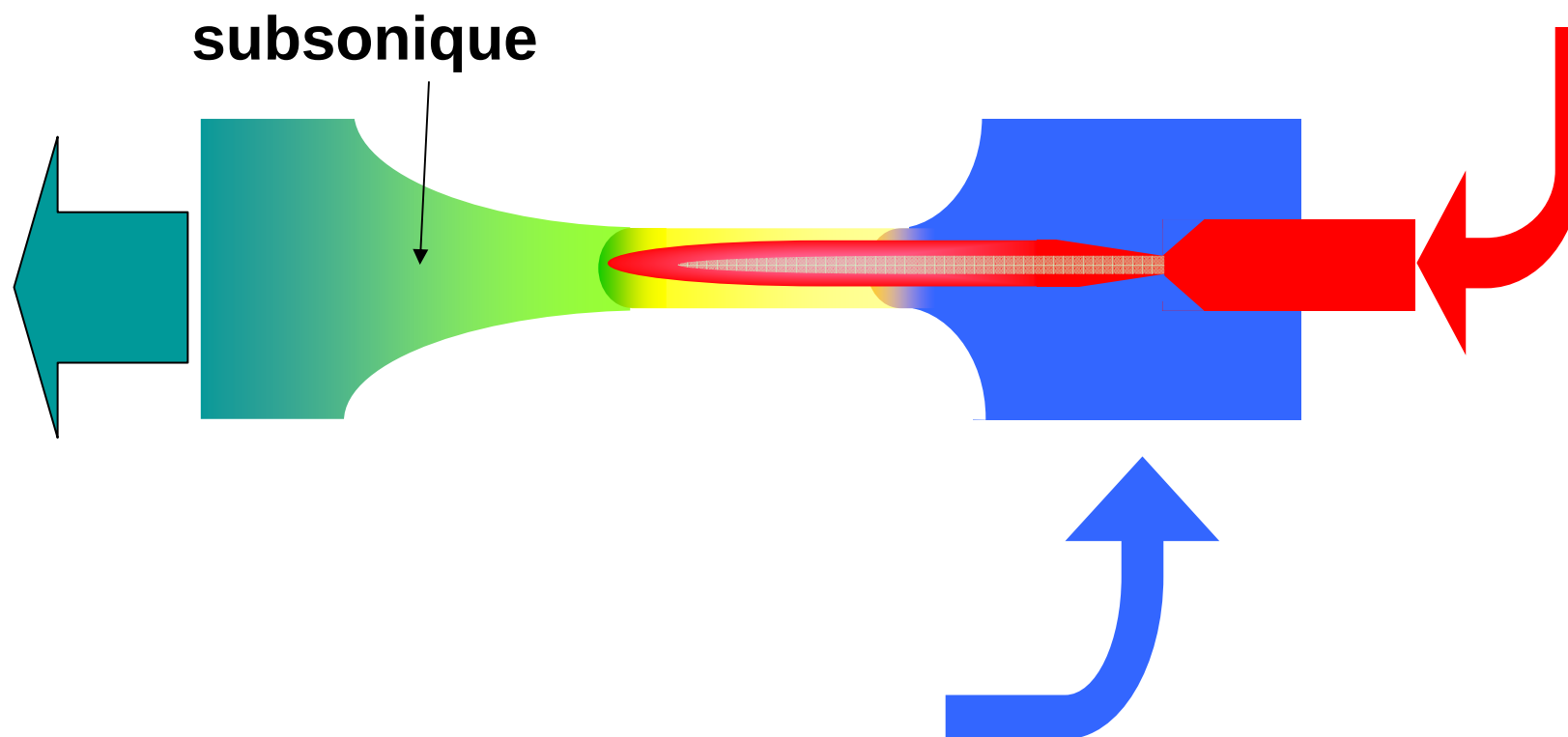
Le diffuseur



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

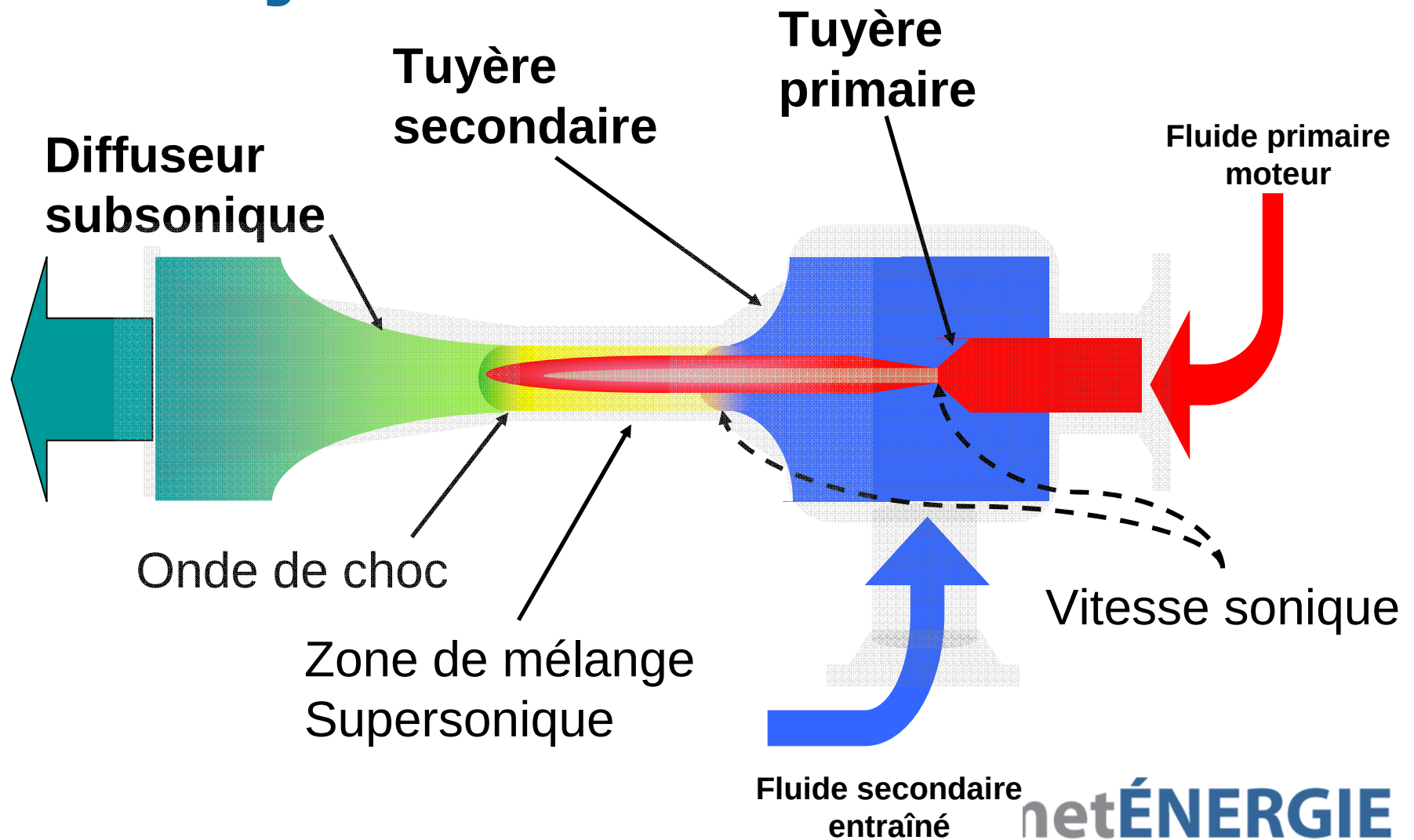
Le diffuseur



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

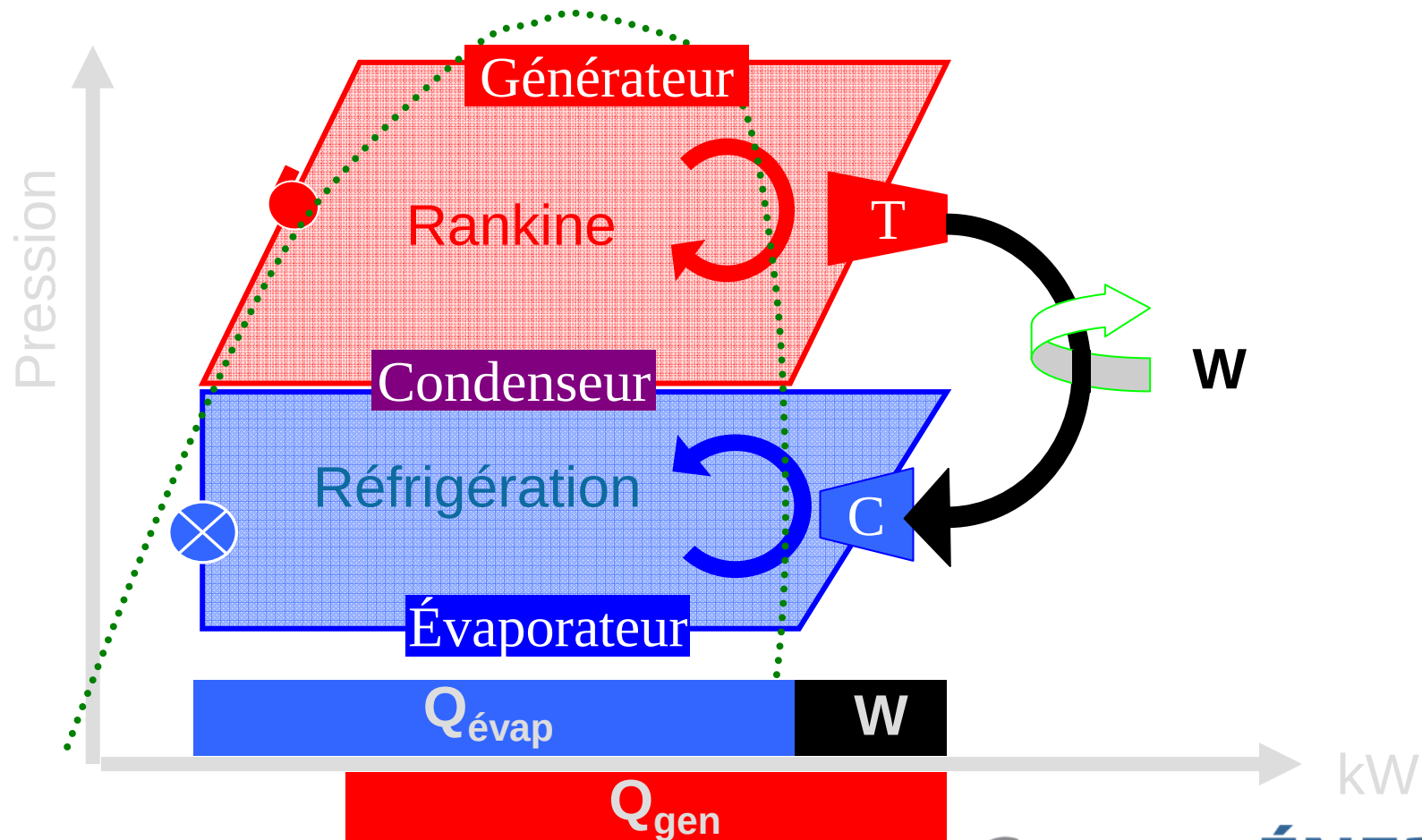
L' éjecteur



netÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

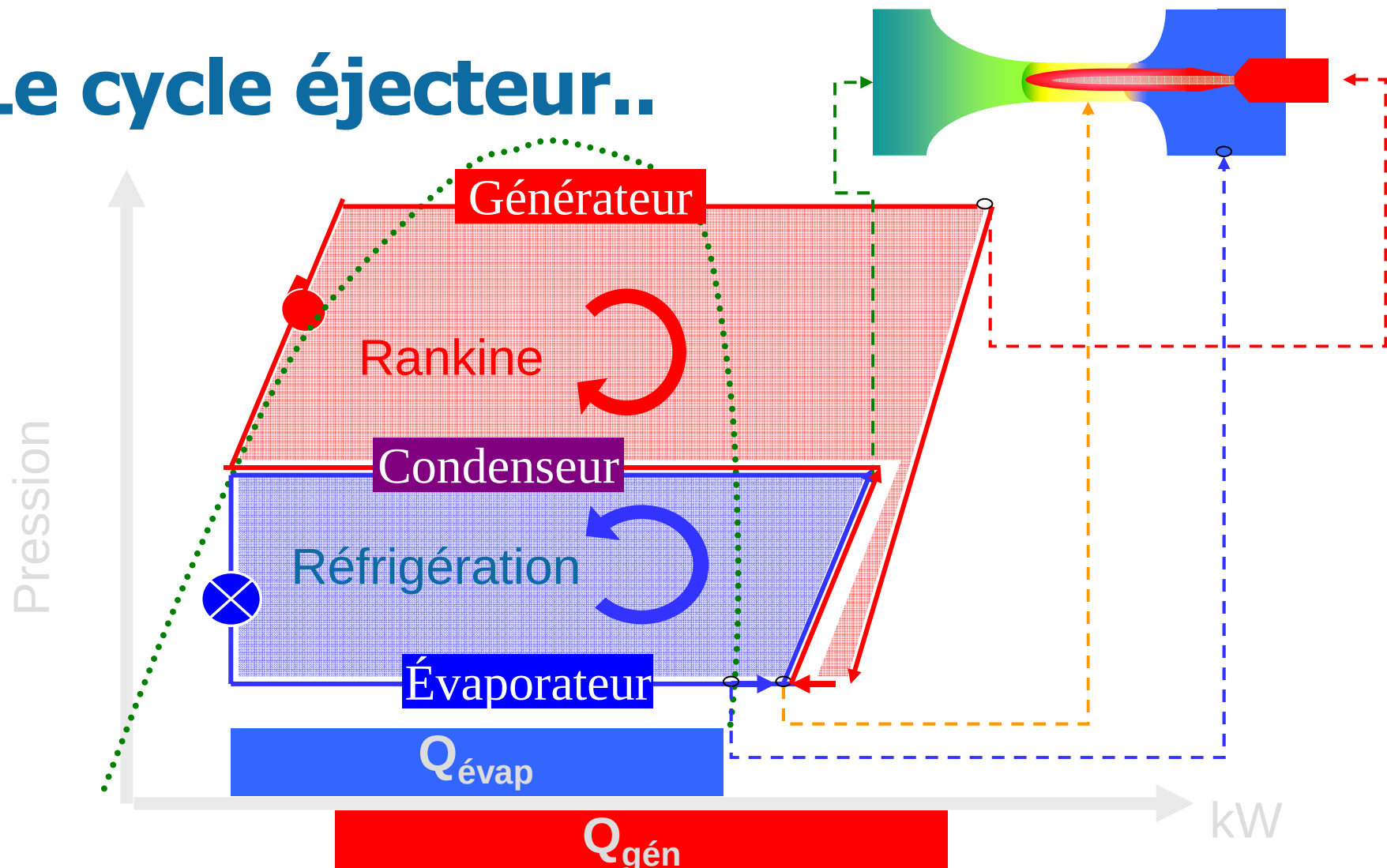
Le cycle combiné Rankine-Réfrigération



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

Le cycle éjecteur..

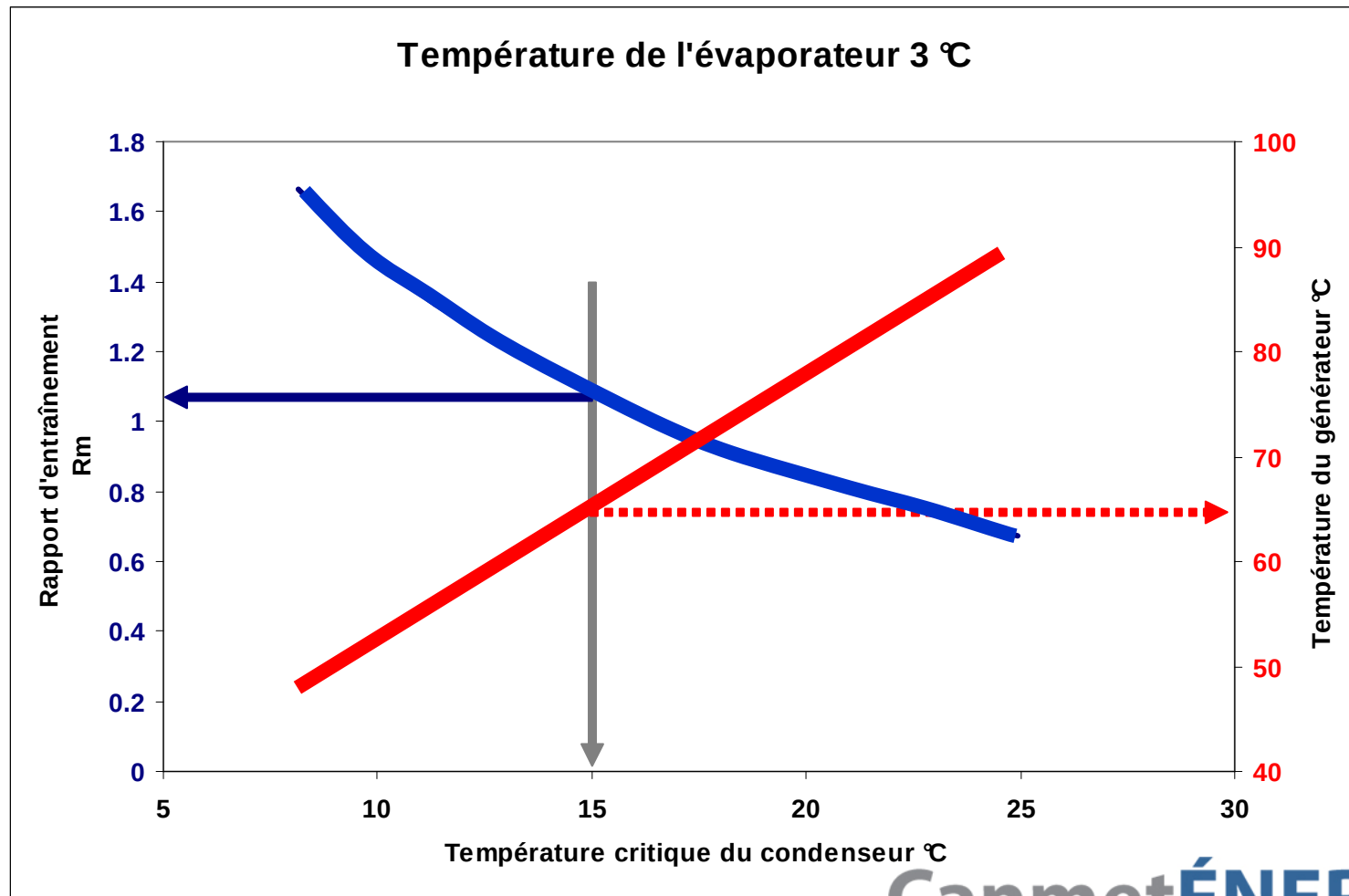


$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{évap}}}{Q_{\text{gén}}}$$

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

Courbes de performance de l'éjecteur



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

Produire du froid avec des effluents industriels

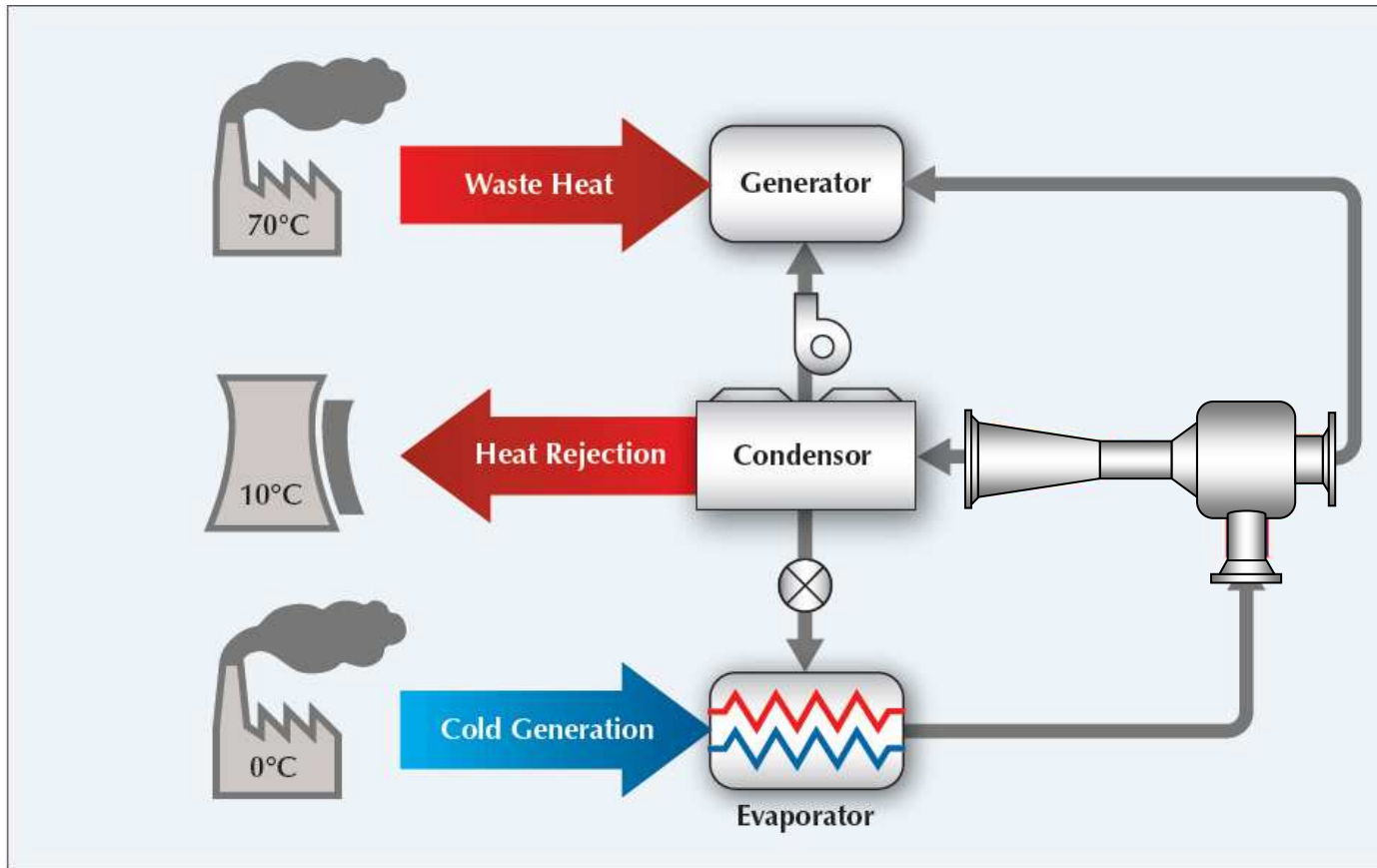


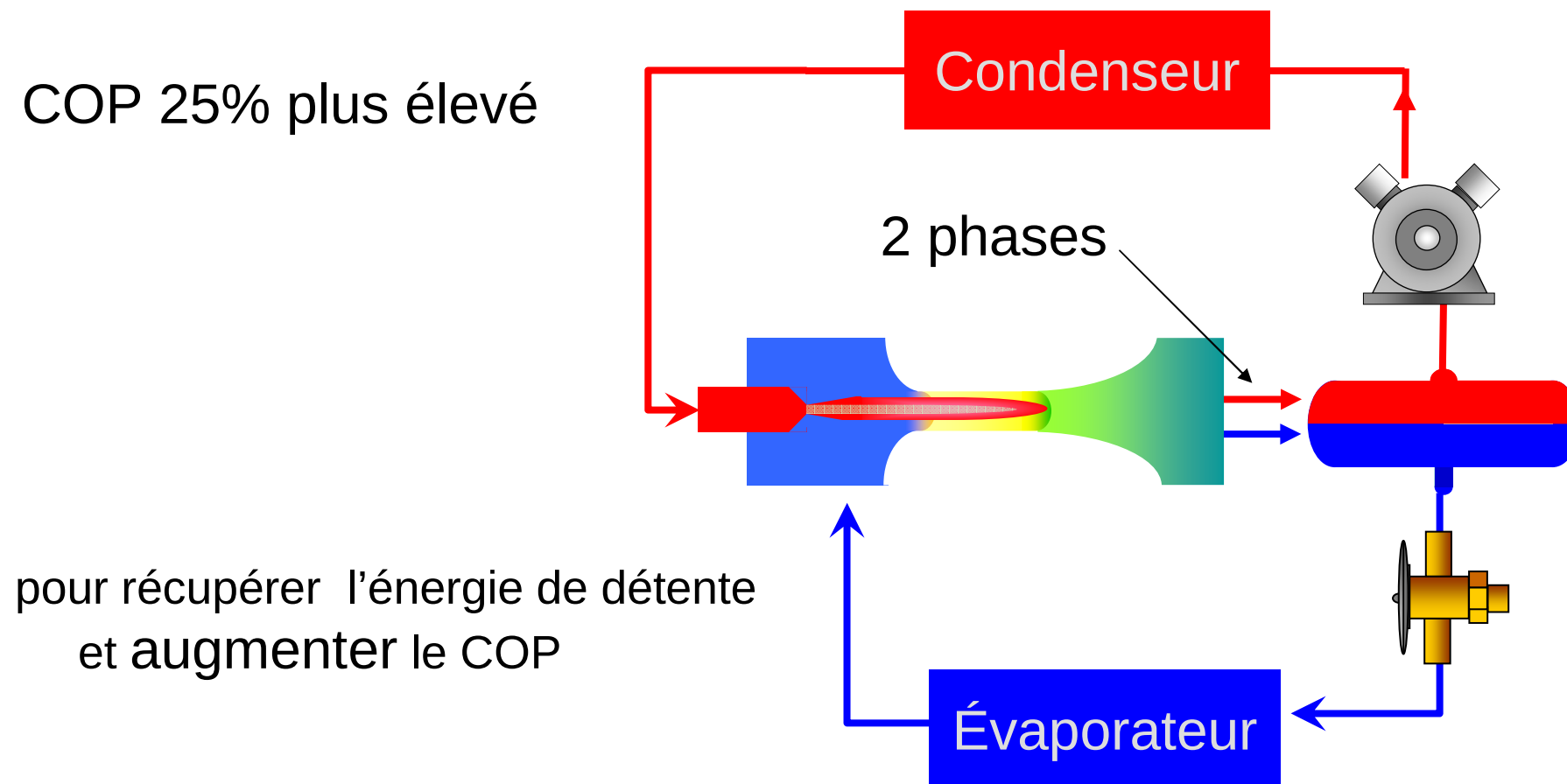
Figure 1: Waste heat fired refrigeration system

ENERGIE

Leadership en écoInnovation

Éjecteur-détendeur

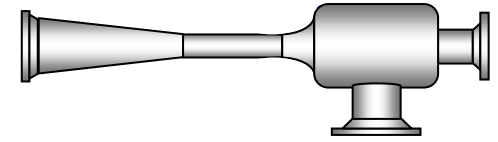
COP 25% plus élevé



CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

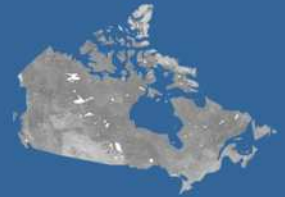
Pourquoi les éjecteurs?



- Pas de pièces mobiles
- Pas d'huile
- Grande variété de matériaux pour le construire
- Tous les gaz et les réfrigérants peuvent être utilisés
- Pas de limite de température (sauf pour les matériaux)

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation



**Coulis de glace
(Ice slurry)**

Pourquoi les coulis de glace?

- Pour réduire la quantité de frigorigène synthétique
- Pour stocker et transporter du froid
- Pour stocker de la chaleur!
- Pour réduire le débit de fluide secondaire de 4 à 5 fois et la puissance de pompage
- Pour l'uniformité de température
- Projet de démonstration Moisson Montréal

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

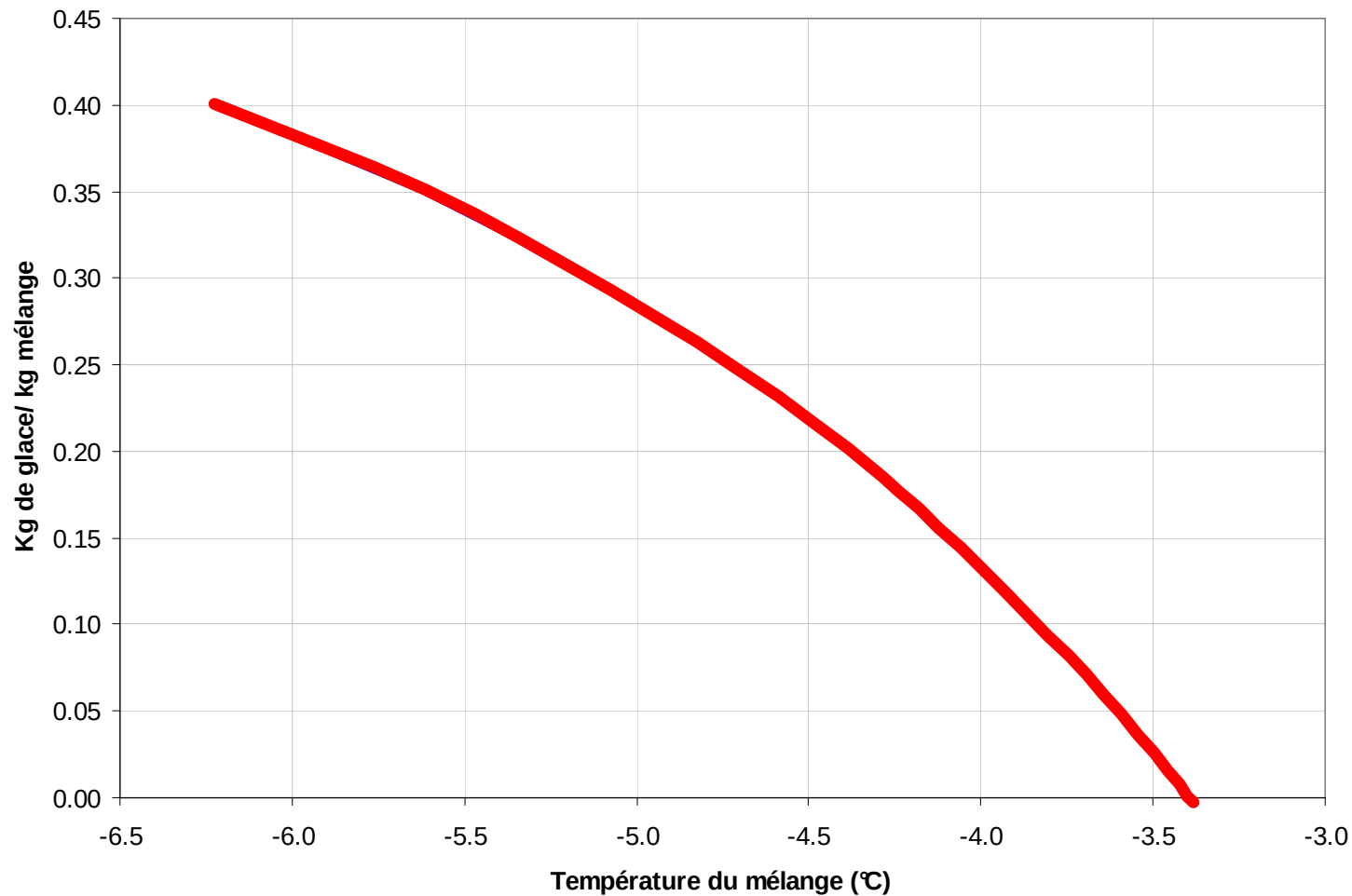


Composition

- Eau pure
- Eau mélangé avec :
 - Alcool (**éthanol**, méthanol)
 - Glycol (**éthylène-glycol**, propylène-glycol)
 - Sel (CaCl, NaCl, MgCl, K₂CO₃, etc...)
 - Autre (ammoniac, glycérol, etc...)

Formation du coulis

10% Éthylène-glycol



45

RGIE

coInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada



Questions?



Daniel Giguère

Courriel : daniel.giguere@nrcan.gc.ca

Téléphone: (450) 652-5015

Site Internet : <http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca>



- **Les technologies innovatrices en réfrigération.**
- Depuis vingt ans, les enjeux environnementaux ont fortement influencé la recherche et le développement des technologies en réfrigération. Cet exposé présente quelques exemples de technologies de réfrigération commerciale et industrielle qui font l'objet de projets de recherche chez CanmetÉNERGIE à Varennes et aussi ailleurs dans le monde. Les principaux thèmes qui seront exposés : CoolSolution, la réfrigération au CO₂, les éjecteurs pour produire du froid et les coulis de glace.

CanmetÉNERGIE

Leadership en écoInnovation

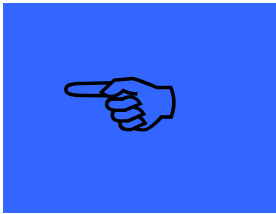
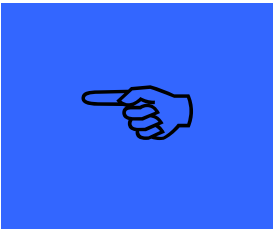
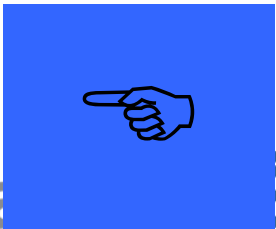
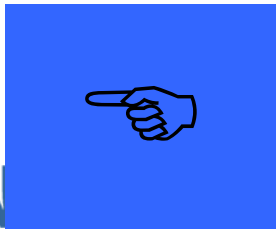
Le dioxyde de carbone

- 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
- Le CO₂ utilisé en réfrigération est un sous produits des procédés de production d'ammoniac ou d'hydrogène. (wikipedia)

IE

Leadership en écoinnovation

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 • Réduction des coûts d'opération • Systèmes plus efficaces • Réduction du coût du réfrigérant. • Réduction du volume des composants		

49

Leadership en écoInnovation



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada

Le cycle combiné Kelvin - réfrigération

