

# APPLICATIONS DES RÉFRIGÉRANTS NATURELS

**CO<sub>2</sub> et HC**

14/04/2016

*Erik Duvellié*

*Technical Support Engineer – BITZER Benelux*



# Content

- Introduction BITZER
- Le CO<sub>2</sub> comme réfrigérant – R744
- Les hydrocarbures comme réfrigérant R290 & R1270
  - Pourquoi?
  - Aspect de la sécurité
  - Applications et propriétés thermodynamiques
- Conclusion



Compresseurs  
a piston



Compresseurs  
a vis



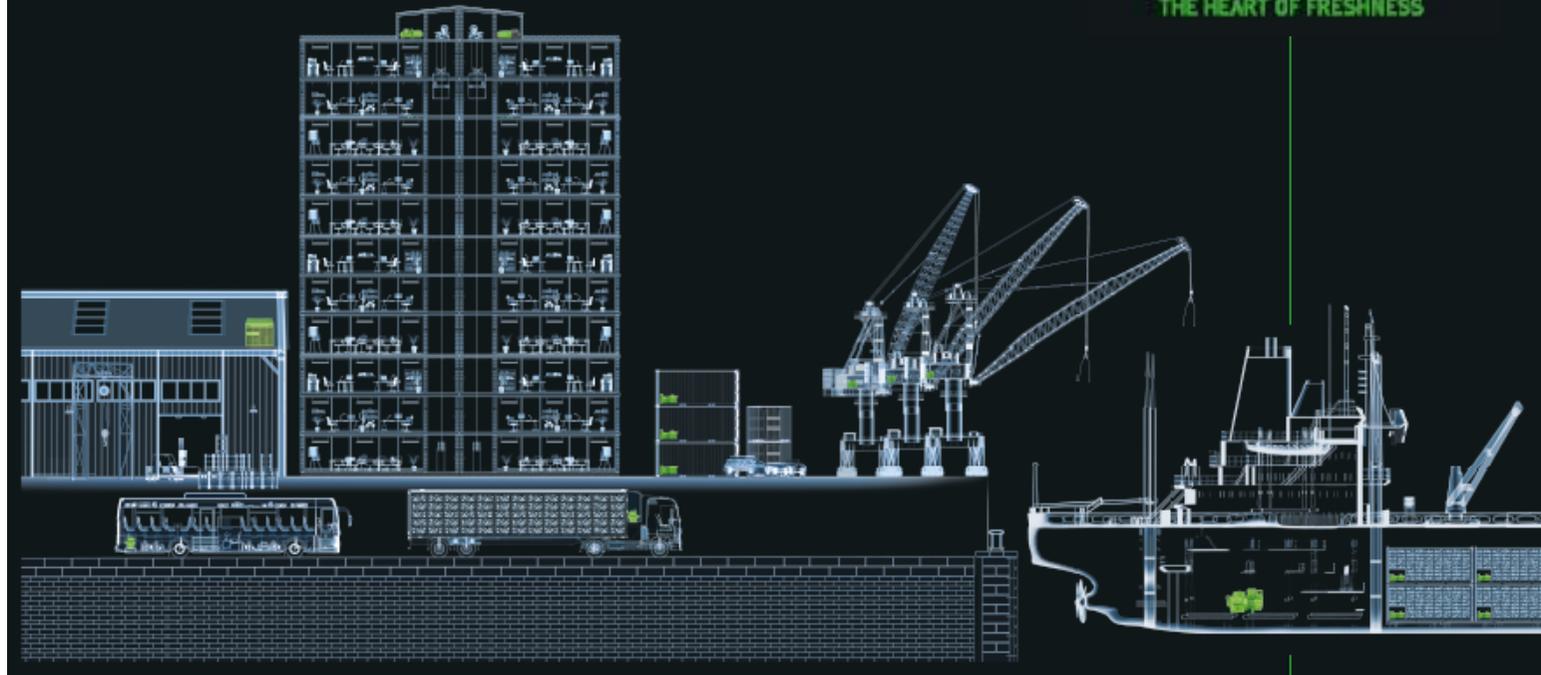
Compresseurs  
scroll



YOU CAN'T SEE OUR PRODUCTS ANYWHERE.  
BUT YOU CAN FEEL THEM EVERYWHERE.



THE HEART OF FRESHNESS



# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant



**But a different  
Technology**

# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

- 1866: T. Lowe (USA) a utilisé R744 dans les systèmes de réfrigération par compression de vapeur pour la première fois. Application: refroidissement de viande sur les navires
- 1881: Carl von Linde a construit le premier système de réfrigération avec CO<sub>2</sub> en Europe
- 1940: 90% de tous les systèmes de réfrigération enregistrés sur les navires fonctionne avec R744 - selon Lloyds Register
- 1940: les systèmes de CO<sub>2</sub> ont été rapidement remplacés après le développement de (H) CFC dans les années trente
- 1988: G. Lorentzen (NTNU, Norvège) re-découvert R744 pour les systèmes MAC

# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

## Pourquoi le CO<sub>2</sub> comme réfrigérant.

- Le règlement F-Gas (no. 517/2014) est entrée en vigueur le 1er Janvier 2015 et stimule l'application des fluides frigorigènes à faible GWP, en particulier le CO<sub>2</sub> et les fluides naturels.
- Au cours des 15 dernières années, le CO<sub>2</sub> a lentement développé à partir d'une application de niche à une option préférée de plus en plus de clients dans la réfrigération commerciale.
- Une solution GREEN et à long terme

# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

## Avantages:

- Ozone Depletion Potential (ODP) = 0
- Global Warming Potential (GWP) = 1 → Solution à long terme.
- Ininflammable
- Non-toxique
- Disponibilité et coûts (2 - 5 € / kg, en fonction du degré de pureté et la quantité utilisée)
- Haute performance volumétrique: petits compresseurs et diamètres de tuyauterie
- Idéal pour récupération de chaleur (spécialement pour l'eau sanitaire > 60 ° C)

# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

## Avantages:

- COP favorable dans des climats tempérés: Faible consommation d'énergie
- Haut coefficient de transfert de chaleur: Des petits condenseurs et évaporateurs
- Réduction de pertes de pression: Des petits tuyaux et les réservoirs, etc.
- Débit massique faible
- Haute performance volumétrique: petits compresseurs et diamètres de tuyauterie
- Idéal pour récupération de chaleur (spécialement pour l'eau sanitaire >60°C)

# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

## Désavantages:

- Des niveaux de pression relativement élevés
- Les aspects de sécurité (règlements) et la conception des composants
- Équipement pour éviter des pressions excessives pendant les périodes d'arrêt!!!
- Température critique à 31,1 ° C  
propriétés thermodynamiques défavorables pour les systèmes avec des températures de sortie des pressions de refoulement plus élevées / de refroidisseur de gaz

# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

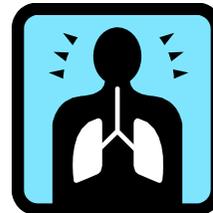
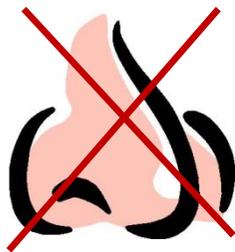
## Désavantages:

- Flexibilité limitée:  
Min. température d'évaporation -56°C en raison du point triple
- Plus lourd que l'air
  - en cas de fuite CO<sub>2</sub> accumule au niveau du sol!!!
- Inodore et incolore
  - Aucune perception facile en cas de fuite (détecteurs de CO<sub>2</sub> sont obligatoires)!!!

# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

## Influences sur le corps humain

- Suffocante gaz dans des concentrations plus élevées
- Une plus grande affinité pour l'hémoglobine dans le sang qu'avec le O<sub>2</sub>
- Le déplacement de l'oxygène atmosphérique  
gaz inodore et incolore



# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

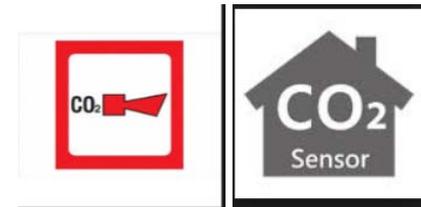
| PPM                 | EFFETS SUR LA SANTÉ   |
|---------------------|---|
| 380                 | Valeur moyenne dans l'atmosphère  |
| < 800               | EN13779: Bonne qualité de l'air intérieur   |
| 5000<br>(0,5 Vol-%) | Concentration maximale en milieu de travail (MAK)<br>Valeur limite, 8 heures, moyenne   |
| 10,000              | Limite d'exposition pour temps limité<br>60 min, 3 fois par jour  |
| 20,000              | Augmentation du taux de respiration avec 50%! Peut affecter la fonction respiratoire et suivie d'une dépression du système nerveux central  |
| 30,000              | Augmentation du taux de respiration avec 100% après une exposition à court terme  |
| 50,000              | Danger immédiatement pour la vie ou la santé (IDLH)<br>Échappe après le temps d'exposition de 30 min sans effets irréversibles sur la santé |
| 100,000             | La plus basse concentration létale<br>Quelques minutes d'exposition produit une perte de conscience   |
| 200,000             | Accidents de décès ont été rapportés  |
| 300,000             | Résulte rapidement dans l'inconscience et convulsions   |



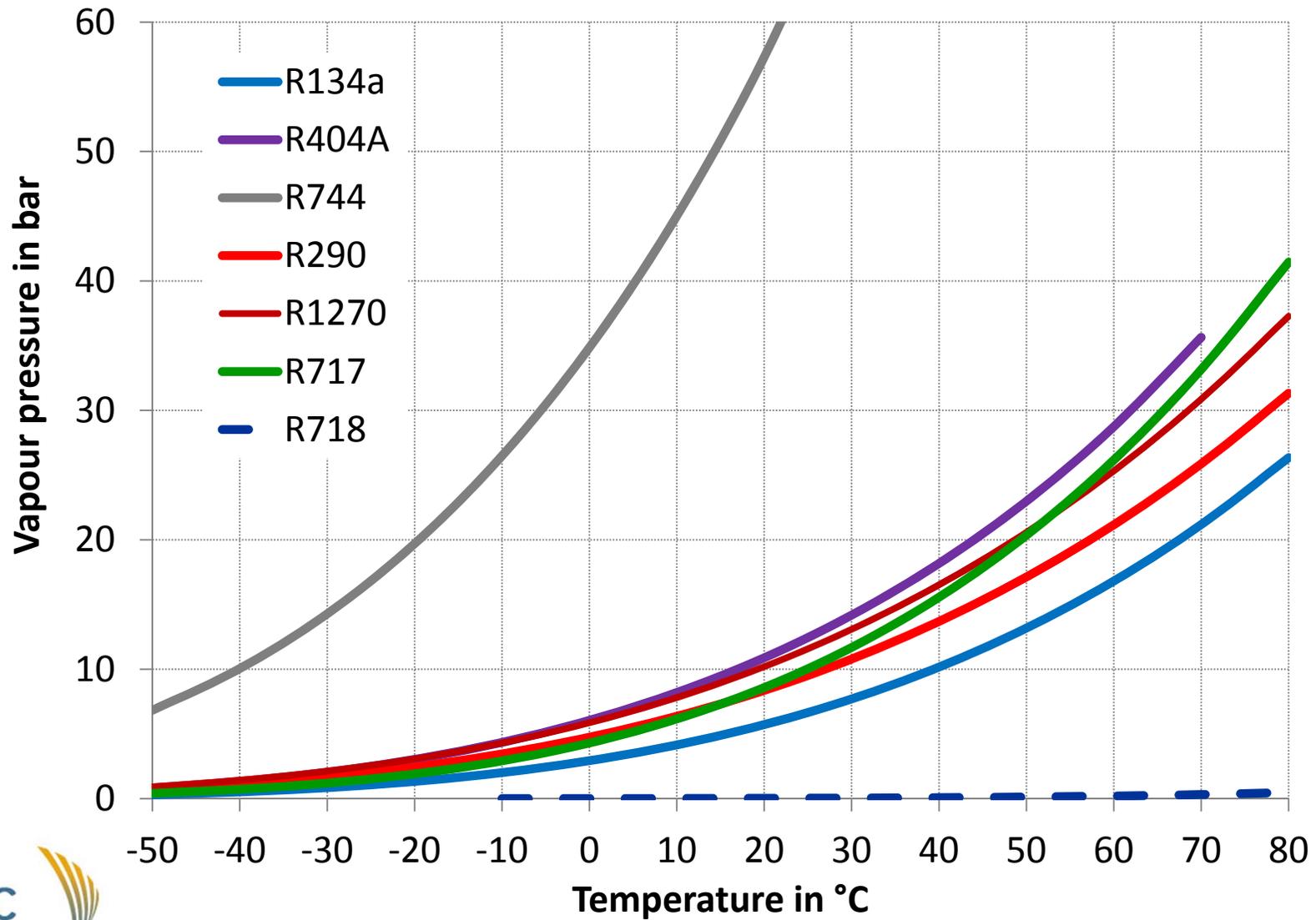
# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

## Sécurité

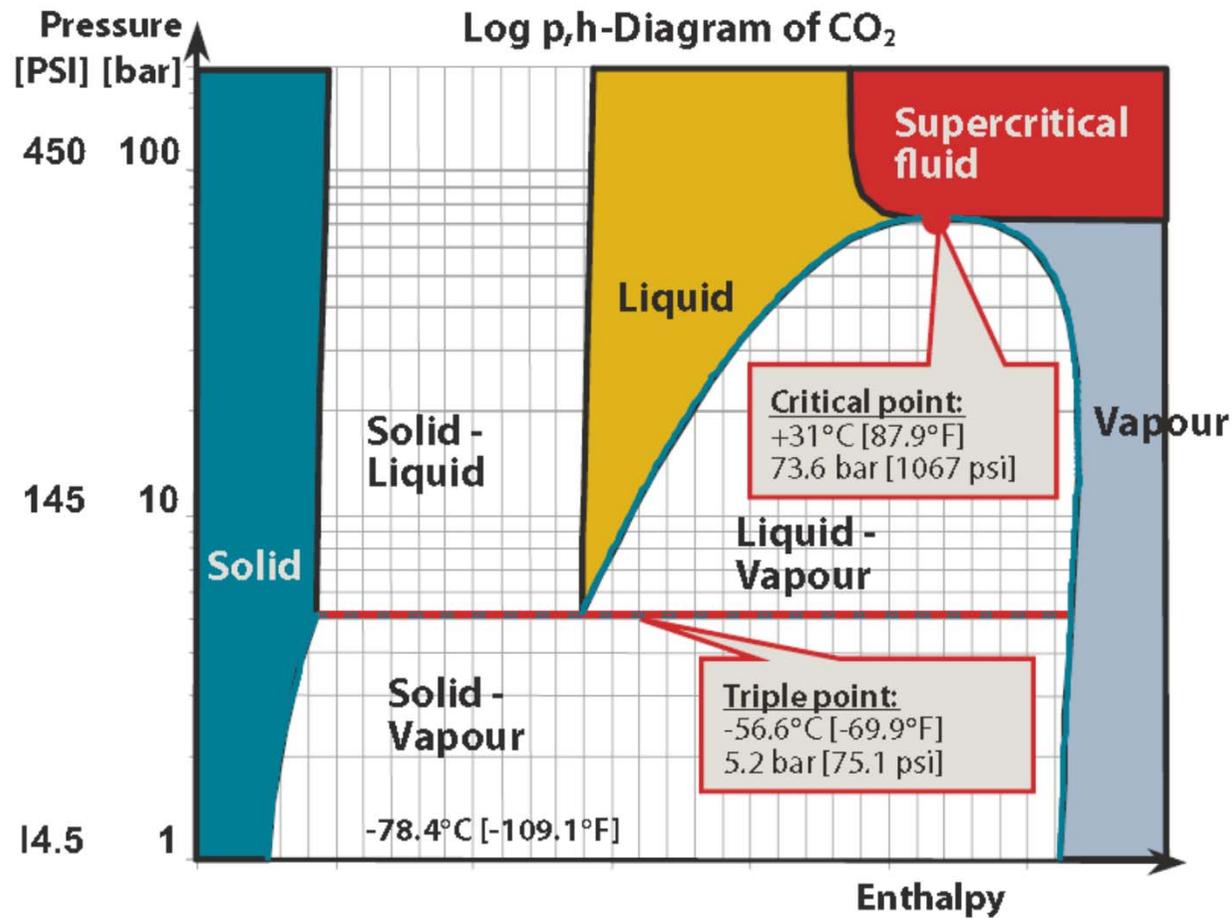
- Ventilation
- Détecteurs CO<sub>2</sub> en combinaison avec alarme acoustique et lumière d'avertissement
- Sécurité contre les pressions excessives
  - Soupapes de surpression
    - » EN 378-2, EN 13136
    - » Certaines parties de la système qui peuvent être isolées



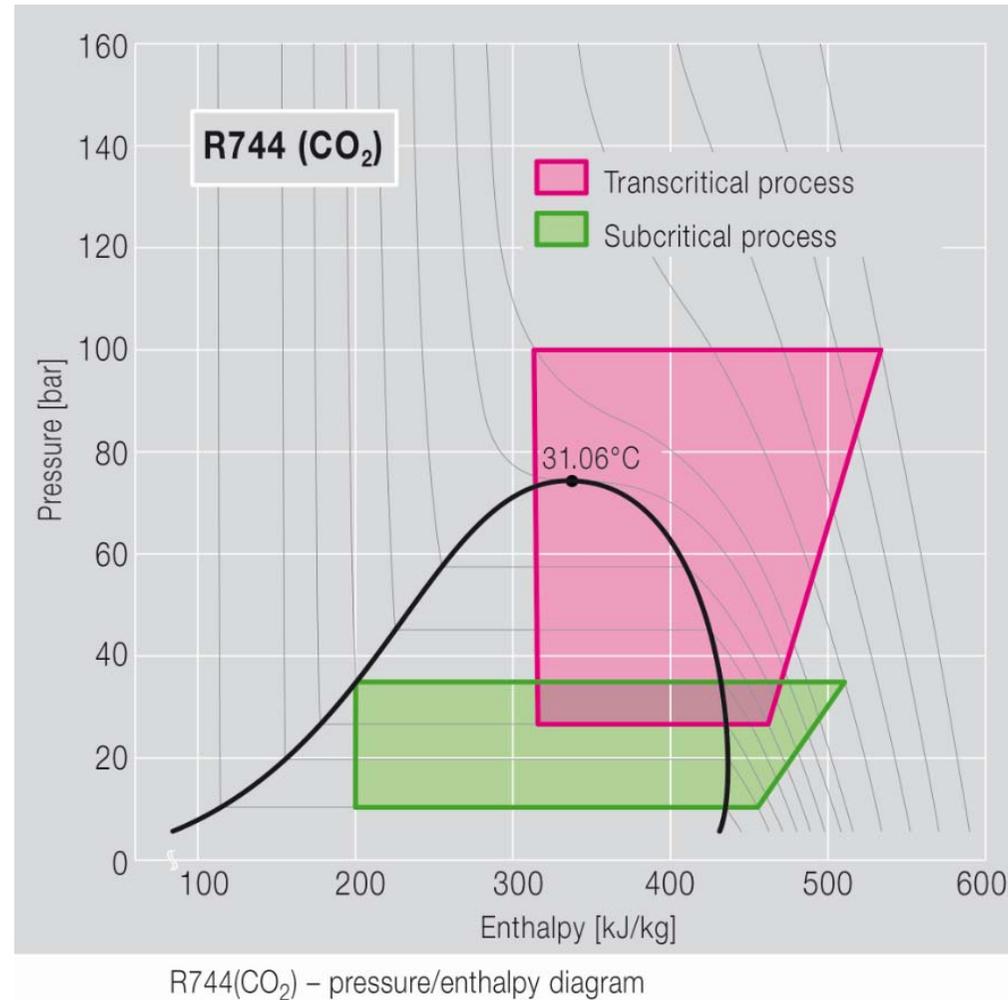
# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant



# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

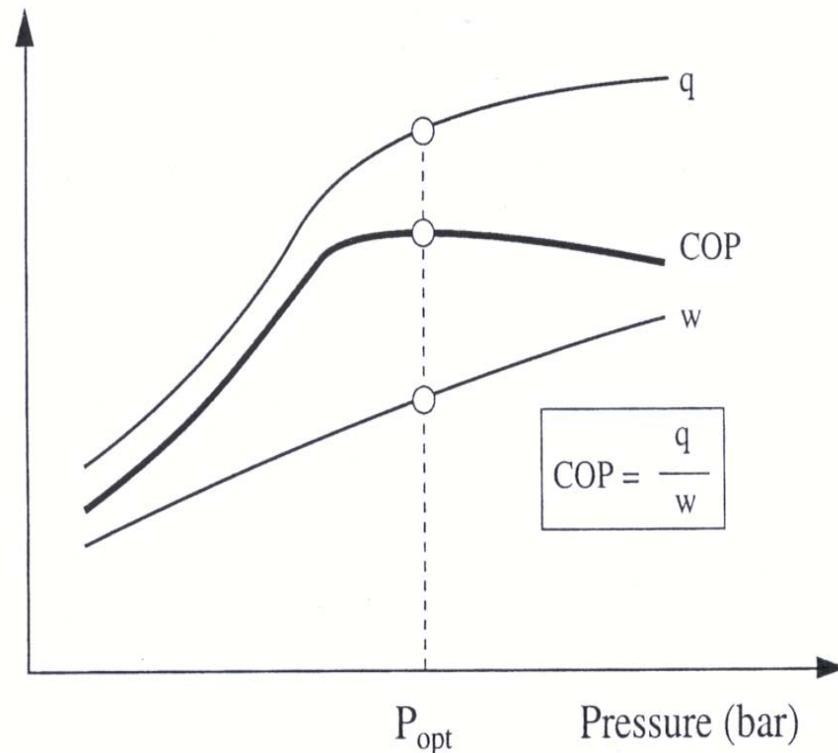
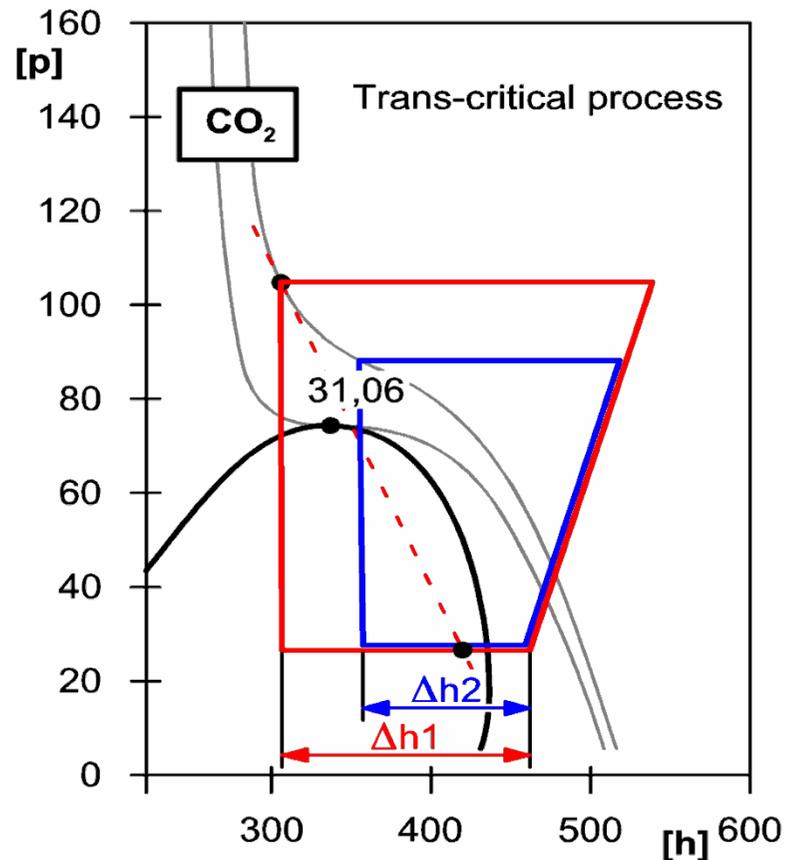


# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant



# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

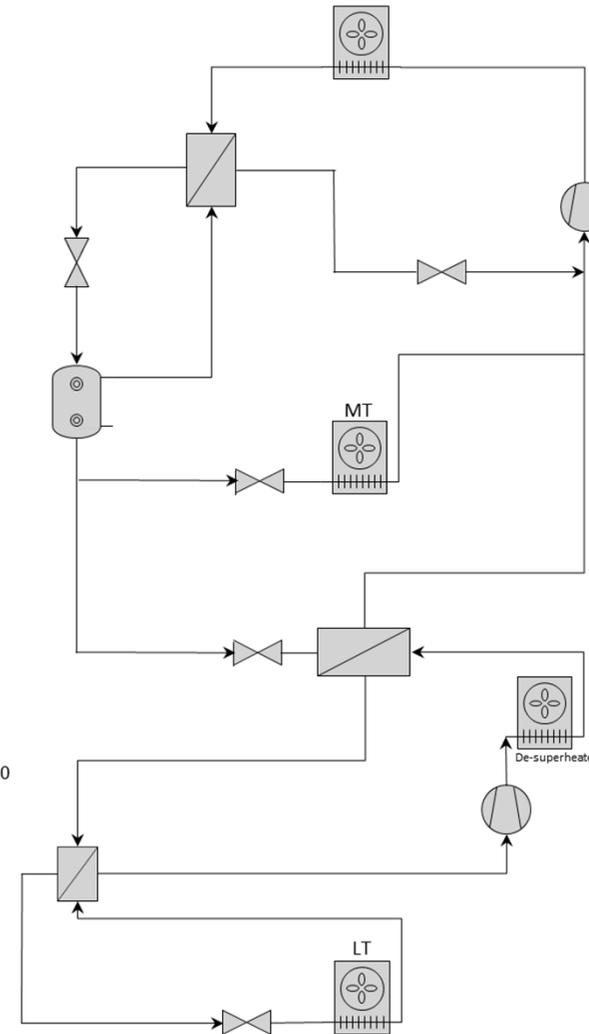
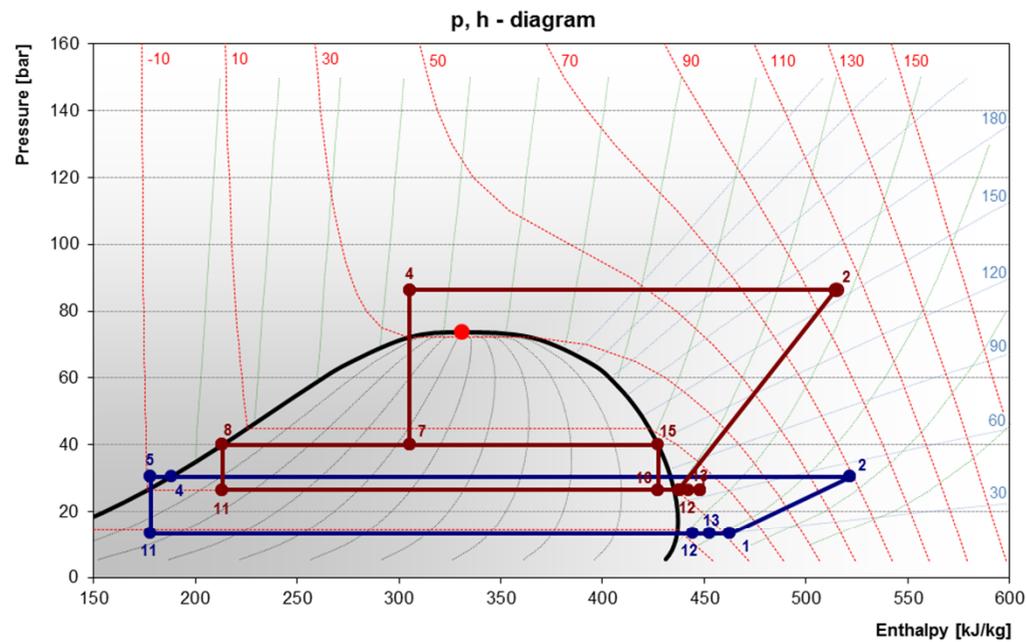
Pour une température de sortie de refroidisseur de gaz donné la COP est en fonction de la haute pression. Pourquoi?



Reference: Sintef-NTNU

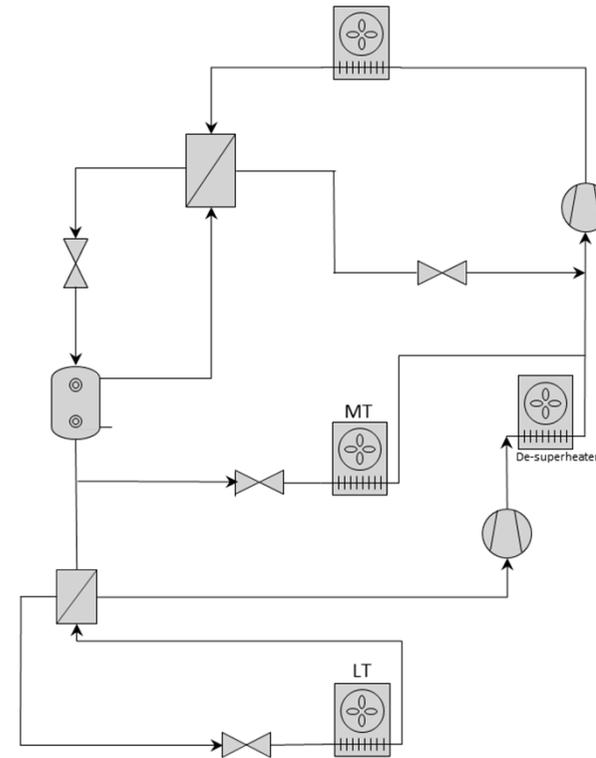
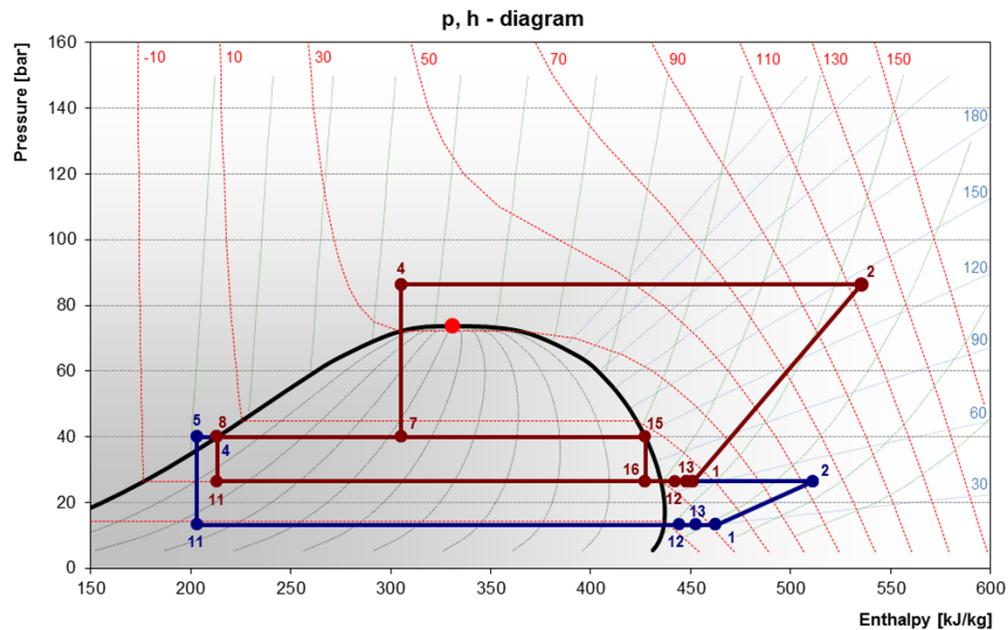
# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

## Système Cascade



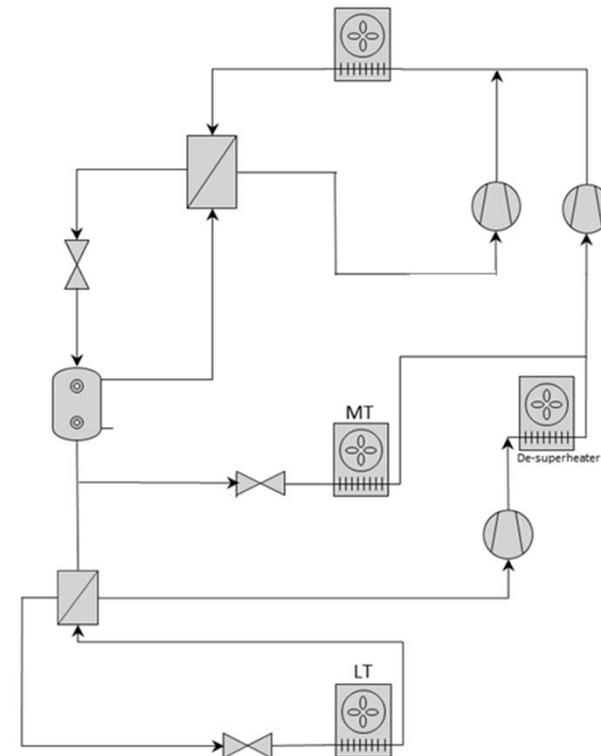
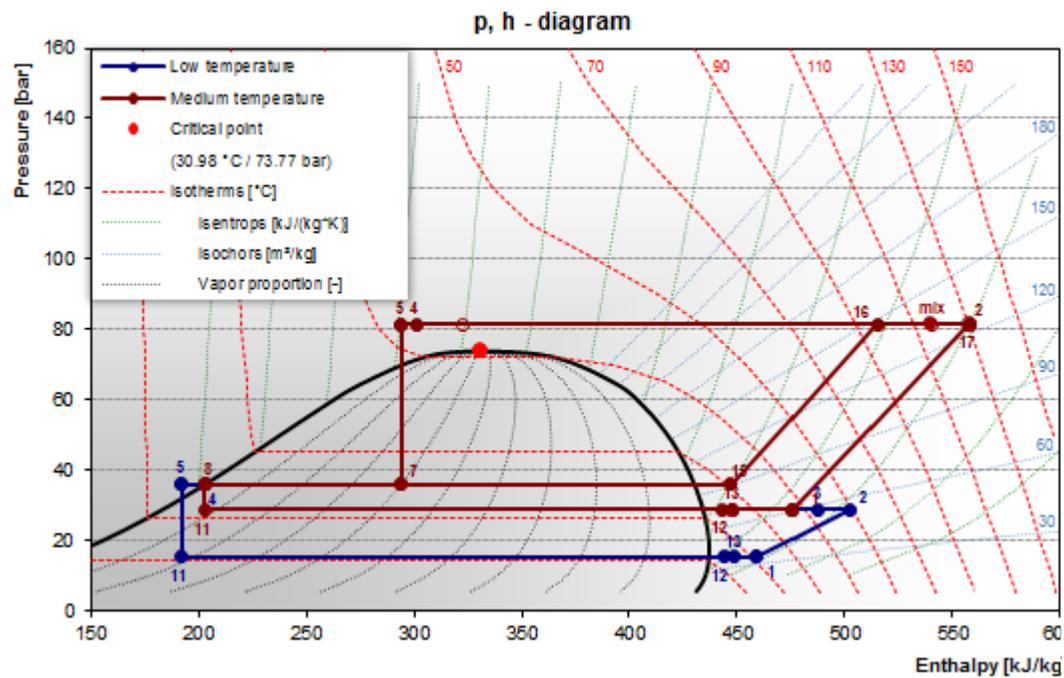
# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

## Système Booster + FGB

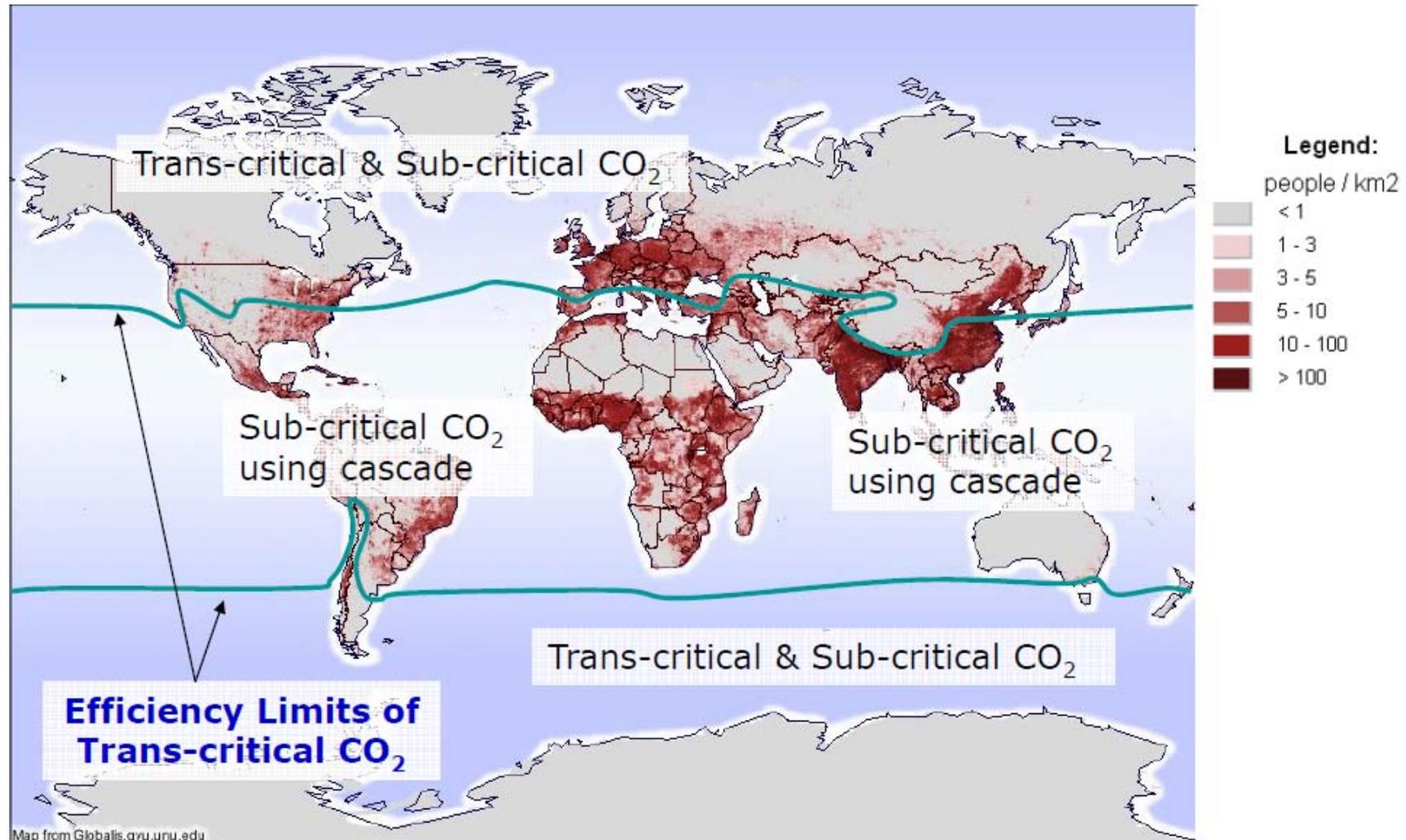


# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

## Système Booster avec compresseur parallèle



# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant



# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant



Transcritique



Subcritique



>68 / 114



> 4400 / ≈ 2000



≈ 800 / 18



4 / > 46



>50 / ≈ 70

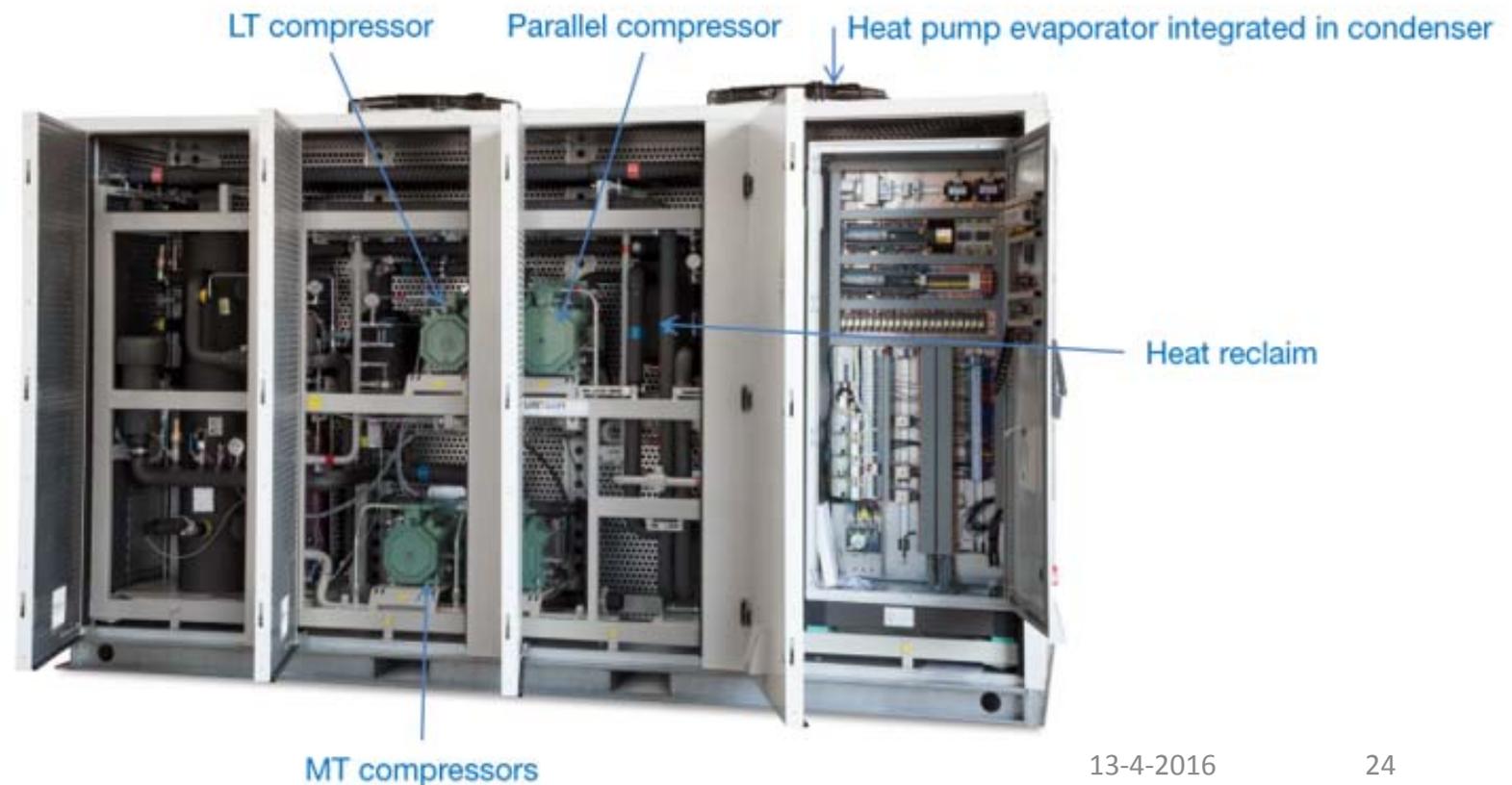


≈ 3 / > 200

BITZER: > 60 000 sold CO<sub>2</sub> compressors,  
mainly in commercial refrigeration!

# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

- Ce n'est pas la science de fusée, c'est juste la réfrigération!
- Commandes intelligent
- Design compact



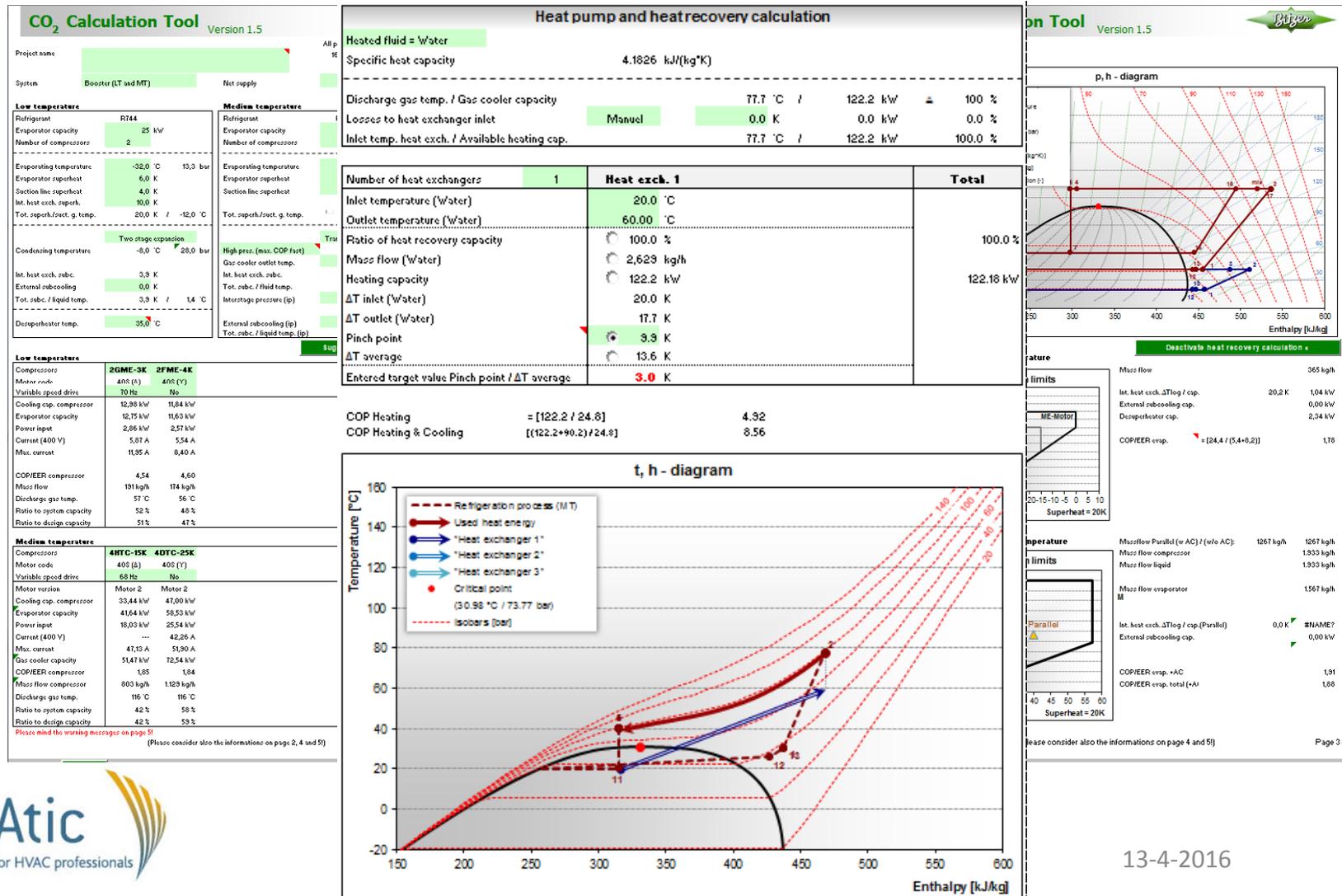
# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

- Centre de distribution avec 3.800 m<sup>2</sup> BT + 6.100 m<sup>2</sup> MT
- Capacités BT / MT / chauffage = 410 kW / 770 kW / 400 kW
- Kilowatt-heures d'électricité / chaleur annuelle =  
1.600.000 kWh/a / 800.000 kWh/a
- Les économies annuelles fondées sur la chaleur récupérer est  
28.000 €/a



# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

## Programme de simulation



# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

## Différences avec les réfrigérants courants

- Les hautes pressions → HP jusqu'à 160 bar
- Haute capacité volumétrique → compresseur plus petit
- Basse température critique de 31 ° C → mode transcritique
- Non inflammable, non toxique → Mais mortelle (suffocation)
- Très faible GWP = 1
- Solubilité élevée avec de l'huile → HX interne (T<sub>doh</sub> 20K)
- Complètement nouveau design du compresseur
- Concept de système spécifique (BT-2 étages)

## Applications:

- Réfrigération commerciale (avec recup, de chaleur)
- Pompe à chaleur, AC, Réfrigération industrielle, Train,...

# CO<sub>2</sub> comme réfrigérant

| Refrigerant         | Relative Efficiency vs. R22 [%] |     | Relative Cooling CAP vs. R22 [%] |     | Pressure vs R22 [%]  | Temp. Glide [K] | GWP  | Safety Group | Material Compatibility |
|---------------------|---------------------------------|-----|----------------------------------|-----|----------------------|-----------------|------|--------------|------------------------|
|                     | MT                              | LT  | MT                               | LT  | SDT 45°C             |                 |      |              |                        |
| R134a               | 102                             | -   | 62                               | -   | 67                   | 0               | 1430 | A1           | ✓                      |
| R404A               | 95                              | 105 | 102                              | 112 | 118                  | 0,7             | 3922 | A1           | ✓                      |
| R407A               | 99                              | 106 | 96                               | 95  | 108                  | 6,6             | 2107 | A1           | ✓                      |
| R410A               | 95                              | 94  | 140                              | 145 | 157                  | < 0,2           | 2088 | A1           | ✓                      |
| CO <sub>2</sub> (1) | 85                              | 107 | 470                              | 720 | 500 (trans-critical) | 0               | 1    | A1           | Elastom.               |
| 1234yf              | ±98                             | -   | ±60                              | -   | ±66                  | 0               | 4    | A2L          | ✓                      |
| R513A               | ±100                            | -   | ±65                              | -   | ±70                  | 0               | 600  | A1           | ✓                      |

- (1) MT (Trans-crit.): SST -7°C/tgc 35°C/ 86bar
- (2) Higher efficiency in sub-critical mode - Similar SEPR in moderate climates

# HC comme réfrigérant



**R290 / R1270**  
**Natural Gases**  
**ODP=0**  
**GWP=3**  
**Green Solution**



**Long Term Solution  
to  
Replace**

**R22**  
**ODP=0,055**  
**GWP=1810**

**R404A/ R507A**  
**GWP=3922/ 3985**

**R407A/ R407F**  
**GWP=2107/ 1825**

**R134a**  
**GWP=1430**

# HC comme réfrigérant

- Les compresseurs ouvert à piston BITZER sont appliquées depuis de nombreuses années avec du propane comme réfrigérant dans l'industrie pétro-chimique, surtout dans les zones ATEX.
- Compresseurs semi-hermétiques ne pouvaient pas être appliquées
  - Approbation selon le «Règlement Ex» très exigeant.
    - compresseur est traité comme un moteur
  - aspect commercial (quantité limitée)
- De nouvelles possibilités ont été réalisées avec la norme allemande DIN 7003 dans les années '90. Des normes similaires dans d'autres pays
  - Utilisation possible de compresseurs semi-hermétique adaptés avec moteur «standard» avec HC dans des conditions définies. Risque de danger rare et en court terme.
  - Sous réserve d'une évaluation individuelle. Notified body

# HC comme réfrigérant

## Avantages:

- Une longue expérience dans les systèmes de réfrigération pétro-chimiques
- Ozone Depletion Potential (ODP) = 0
- Faible potentiel de réchauffement global (GWP = 3)
- Chimiquement inactif, faible toxicité
- La compatibilité des matériaux favorables
- Puissance frigorifique volumétrique et de l'énergie équivalent aux frigorigènes fluorocarbonés.
- Pas de glissement de température
- Large gamme d'application en raison des niveaux de température et de pression modérée
- la densité du gaz et le débit massique favorable
- bonnes caractéristiques de transport d'huile et de miscibilité

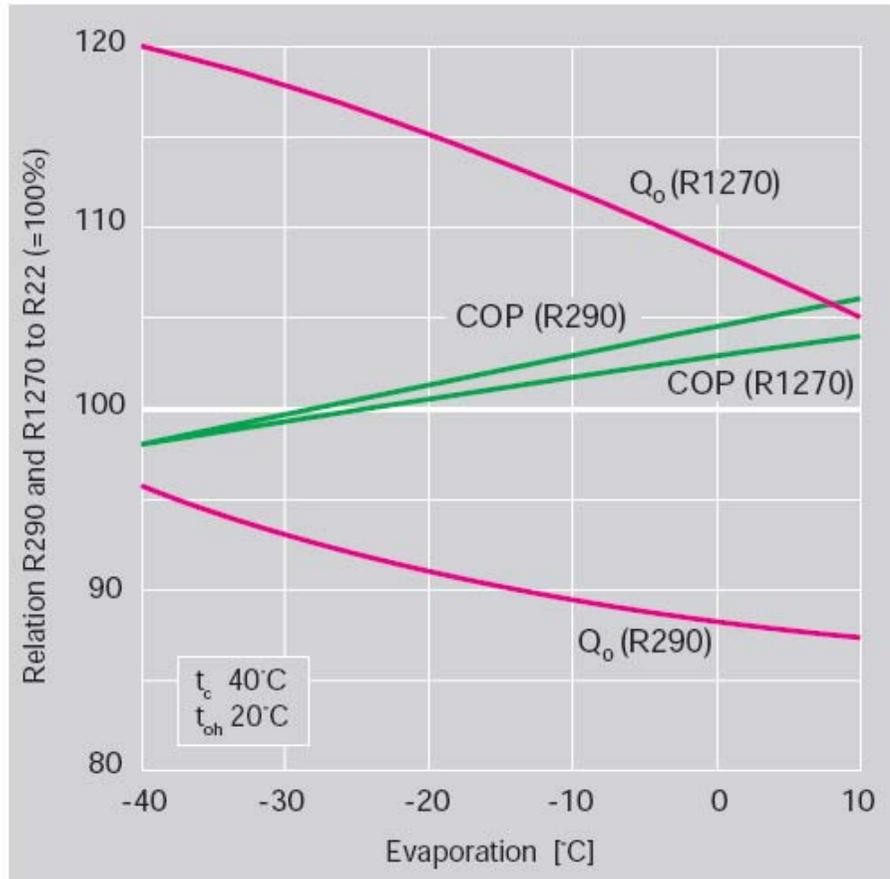
# HC comme réfrigérant

## Désavantages:

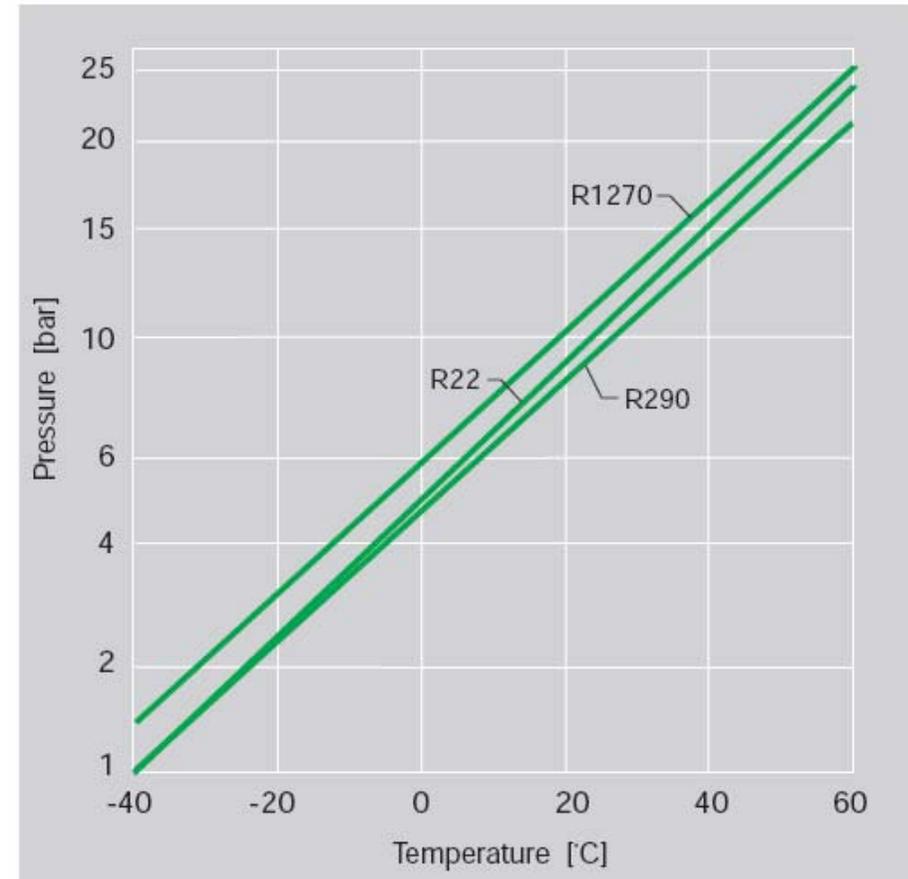
- Inflammable et explosif "Safety Group A3«
  - Des mesures de sécurité spécifiques (exigeant des règles de sécurité)
    - l'augmentation des coûts d'investissement
    - les questions de responsabilité (conception, installation, d'exploitation et de service!)
  - limitations de charge et de l'emplacement de l'installation
    - peut nécessiter des boucles secondaires. Augmentation des besoins en énergie et les coûts d'investissement
- Particulièrement forte solubilité avec des huiles de réfrigération habituelles
  - Forte dilution et l'effet solvant
    - Caractéristiques de lubrification défavorables
    - Danger d'une usure excessive et réduit la durée de vie
  - Exige des mesures supplémentaires, comme une viscosité supérieure, résistance au carter plus forte (sécurité!), cycle pompe à vide, échangeur de chaleur interne.

# HC comme réfrigérant

Capacité réfrigérique et COP



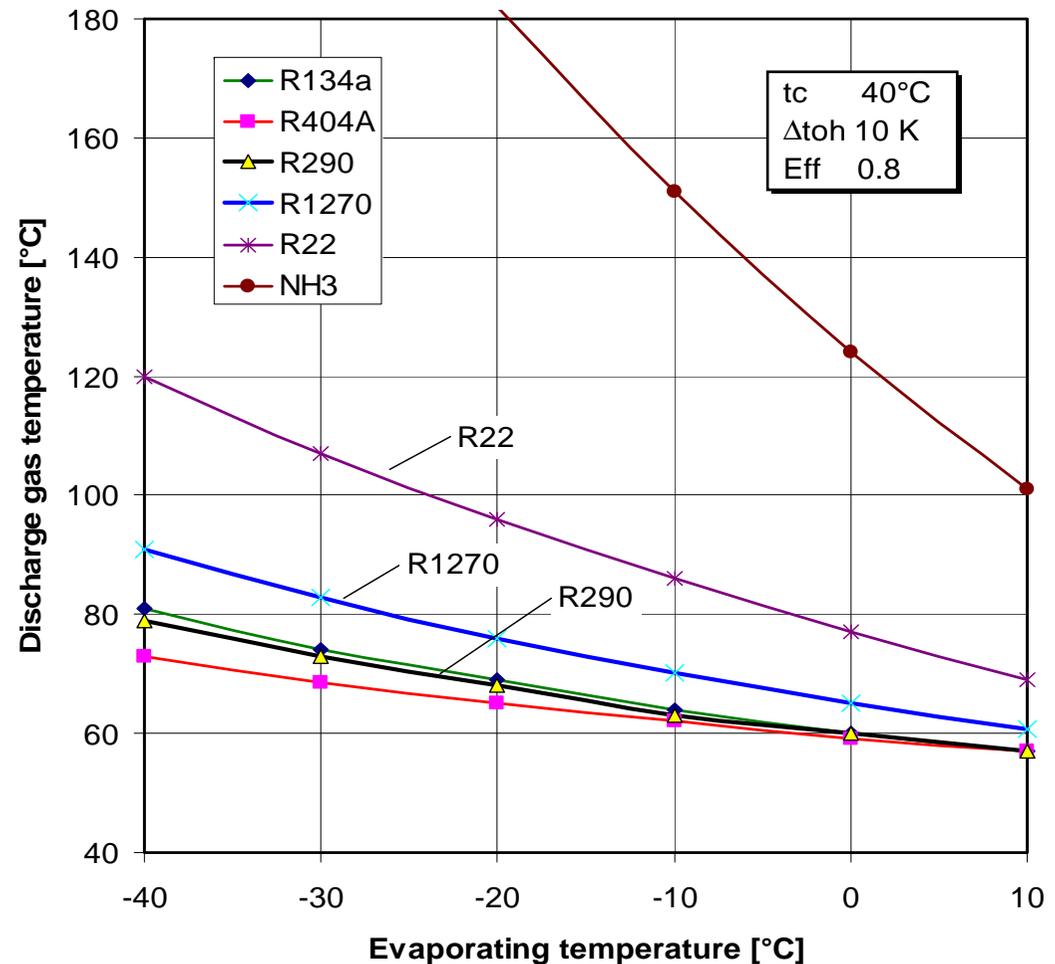
Niveau de pression



# HC comme réfrigérant

Des différences significatives dans la compression isentropique vs R22

- Des températures d'huile et de décharge inférieure.
- Potentiel de BT en une étage.
  - Très faibles températures de décharge et d'huile avec faible ratio de pression
    - exige échangeur de chaleur liquide / aspiration



# HC comme réfrigérant

## Exigences de système:

- Systèmes d'hydrocarbures nécessitent des mesures spéciales de sécurité pour la conception, l'assemblage, le fonctionnement et l'entretien (limitation de l'application)
- Une évaluation des risques de l'ensemble du système doit être effectuée en tenant compte du ATEX Zone 2 (un mélange explosif ne sont pas susceptibles de se produire en fonctionnement normal et si elle se produit, il existera seulement pour un court terme de temps)
- Réglementation de la sécurité locale au lieu de travail et d'autres règlements locaux doit être appliqué dans la conception du système
- L'évaluation des risques par un organisme notifié est généralement recommandé
- Le système doit avoir l'étiquette "Attention Danger d'incendie" (B.3.2 / ISO 3864)



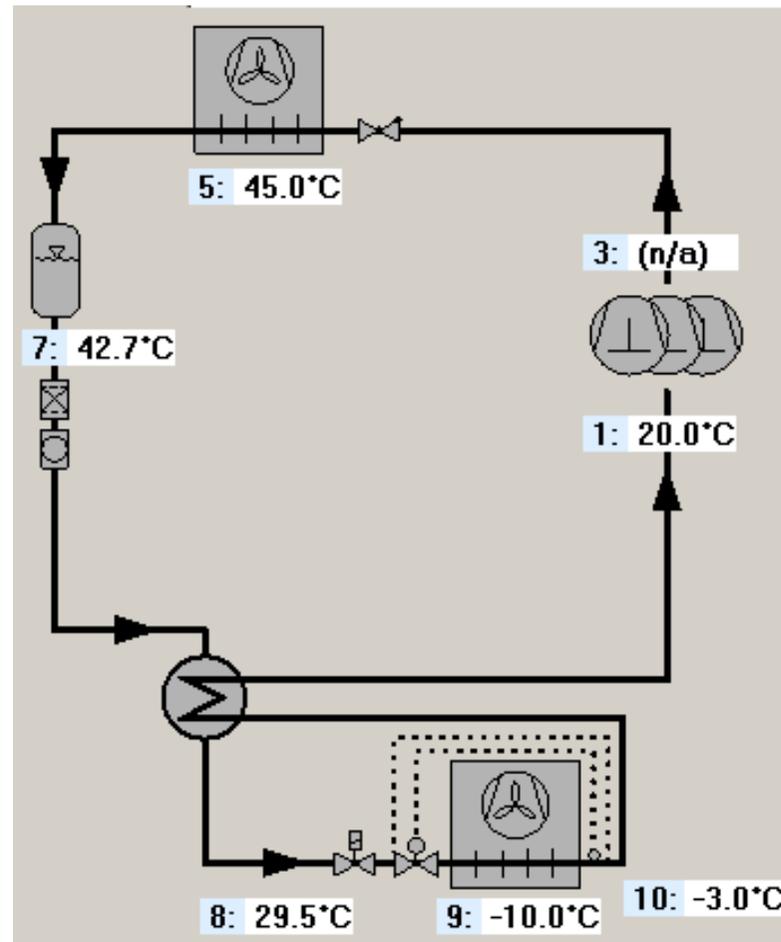
# HC comme réfrigérant

## Exigences de système:

- Pour l'installation intérieure, ventilateur d'extraction et des capteurs de gaz sont couramment utilisés comme mesures de sécurité contre une concentration dangereuse du réfrigérant inflammable dans l'air
- La bonne position des capteurs de gaz du système doit être testé et le système doit s'arrêter, si une concentration dangereuse de réfrigérant inflammable dans l'air est atteint (max. 25% de la limite inférieure d'explosivité dans l'air)
- Conception, assemblage, le fonctionnement et l'entretien du système de réfrigération avec des réfrigérants inflammables du groupe de sécurité A3 exigent l'application des règles et des directives de sécurité par le personnel technique et doivent être effectuées par du personnel autorisé, qui ont été formés et instruits dans tous les travaux

# HC comme réfrigérant

Système avec échangeur interne



# HC comme réfrigérant

## Exigences de système: Autres issues

- Les hydrocarbures sont de bons solvants pour les sédiments
  - propreté maximale, braser avec un gaz protecteur ou filtre d'aspiration de nettoyage
- haute teneur en humidité doit être évitée
  - Indicateur d'humidité (<50 ppm)
- Compatibilité avec les matériaux comme avec les réfrigérants traditionnels
  - Matériaux: Zinc et alliages avec des portions de magnésium plus de 2% ne peuvent pas être utilisés

# HC comme réfrigérant

## Différences avec les réfrigérants courants

- Haute inflammabilité ca 1,5 à 10% vol
- Groupe de sécurité A3
- Thermodynamique près de R22
- Capacités volumétriques  
Le R404A de R290  $\approx$  R22 R1270
- Très faible GWP = 3
- Seulement peu d'adaptation du compresseur
  - Adaption du système: électrique / ventilation

# HC comme réfrigérant

## Perspective:

- Tendence pour les installations avec HC notables, mais différents par pays.
- Réfrigérateurs et congélateurs avec une charge de fluide frigorigène <0,15 kg
- Systèmes de réfrigération commerciaux, des chiller et des pompes à chaleur
  - Lorsque les exigences de sécurité peuvent être satisfaites
  - Système secondaire avec des frais plus élevés
- Systèmes de traitement d'air et pompes à chaleur avec échangeur à air
  - Augmentation de danger par une éventuelle distribution de HC dans le cas d'une fuite

# Conclusion

**CO<sub>2</sub> et HC sont des réfrigérants naturels pour une solution a long terme.**

**Formez-vous pour l'applications avec les réfrigérants naturels et inflammable.**



[www.bitzer.de](http://www.bitzer.de)  
info@bitzer.be



**Merci pour votre attention**