



Cycles frigorifiques bi-étagés.

Lorsque les besoins en froid se situent à des températures basses ($< -30^{\circ}\text{C}$), le fonctionnement d'un cycle monoétagé devient de plus en plus difficile. L'important taux de compression que doit assurer le compresseur se traduit par :

- une dégradation des performances de la machine (COP)
- une augmentation de la température de refoulement pouvant nuire à un fonctionnement du compresseur

Face à un besoin et compte tenu de ces différentes contraintes, les concepteurs de systèmes de production de froid se sont tournés vers des cycles biétagés.

Plusieurs solutions peuvent être envisagées. En particulier, l'émergence des compresseurs à vis depuis une dizaine d'année a conduit à une nette amélioration de tels procédés notamment par la possibilité offerte par les constructeurs de faire fonctionner ces appareils avec ou sans économiseur (orifice d'introduction de vapeur à pression moyenne).

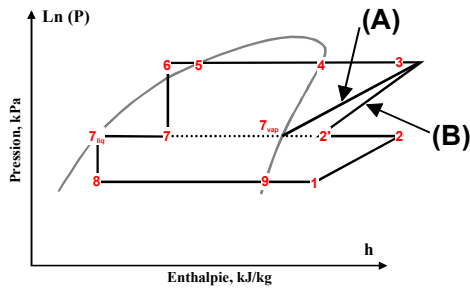
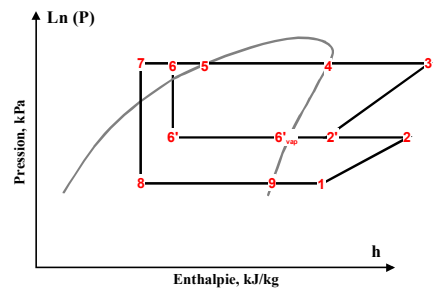
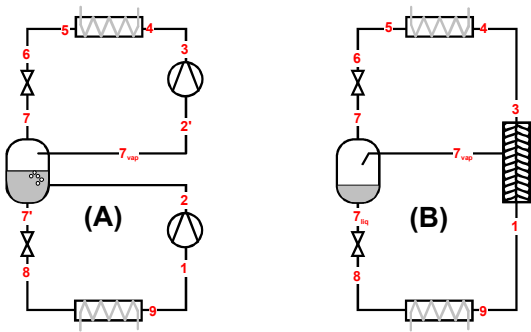
Par ailleurs, face à une technologie donnée, on peut trouver de plus la possibilité de concevoir une installation selon différents cycles thermodynamiques. Citons :

- les cycles à injection partielle
- les cycles à injection totale

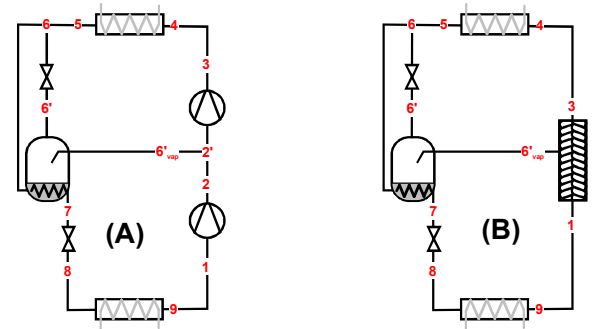
Enfin, ces cycles peuvent être modifiés par l'ajout d'un échangeur sous refroidisseur entre la haute pression et la moyenne pression.

Néanmoins, toutes ces combinaisons de couples compresseur/cycle ont pour point commun de fonctionner avec 3 niveaux de pression et de soutirer une partie du fluide à haute pression pour l'injecter au refoulement de l'étage BP/MP afin d'abaisser la température d'aspiration de l'étage MP/HP.

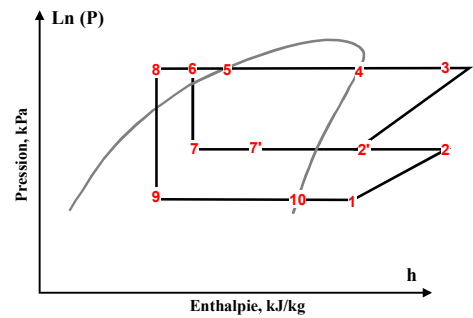
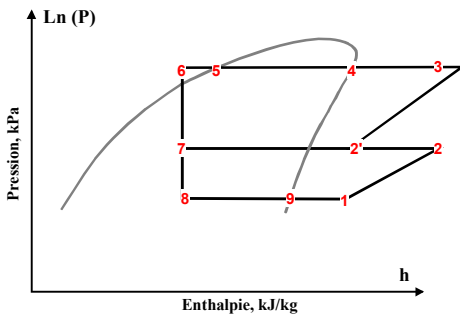
Le choix final en revient au décideur, qui pour des raisons tant technologiques qu'économique, optera pour l'une ou l'autre des possibilités qui s'offrent à lui.



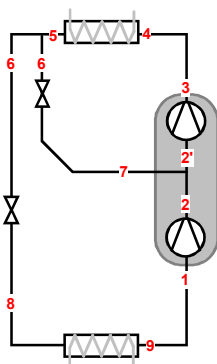
CYCLE BI-ETAGE SANS SOUS REFROIDISSEUR
 (A) Piston : libre choix de la valeur de la pression intermédiaire
 (B) Vis : pression intermédiaire imposée par le constructeur (économiseur)



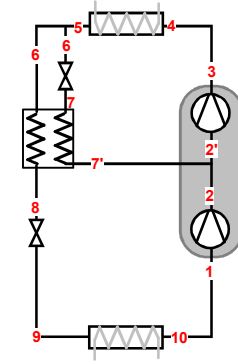
CYCLE BI-ETAGE AVEC SOUS REFROIDISSEUR
 (A) Piston : libre choix de la valeur de la pression intermédiaire
 (B) Vis : pression intermédiaire imposée par le constructeur (économiseur)



CYCLE BI-ETAGE SANS SOUS REFROIDISSEUR
 COMPOUND : pression intermédiaire imposée par le constructeur



CYCLE BI-ETAGE AVEC SOUS REFROIDISSEUR
 COMPOUND : pression intermédiaire imposée par le constructeur (économiseur)



COMPARAISON DES DIFFERENTS CYCLES BIETAGE

Une usine agro-alimentaire souhaite assurer la congélation de ses produits. Le cahier des charges en terme de température et de puissance est le suivant :

- $T_{\text{cond}} : 40^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{évap}} : -40^{\circ}\text{C}$
- Puissance à l'évaporateur : 100 kW
- Fluide de travail : R22.

Comparez les couples compresseurs/cycles suivants en terme de COP et de volumes aspirés.

Cycle monoétagé

- Rendement isentropique : 0.7
- Surchauffe utile (à l'évaporateur) : 3°C
- Surchauffe à l'aspiration : 5°C
- Sous refroidissement au condenseur : 3°C
- Rendement volumétrique donné par la relation : $\eta_v = 1 - 0.05\tau$, τ : taux de compression $\tau = \frac{P_{\text{cond}}}{P_{\text{évap}}}$

Cycle biétagé composé de deux compresseurs à piston, pas d'échangeur sous refroidisseur

- Pression intermédiaire calculée d'après la relation : $P_{\text{moy}} = \sqrt{P_{\text{évap}} * P_{\text{cond}}}$
- Rendement isentropique de chaque compresseur : 0.7
- Surchauffe utile (à l'évaporateur) : 3°C
- Surchauffe à l'aspiration des deux compresseurs : 5°C
- Sous refroidissement : 3°C
- Rendement volumétrique donné par la relation : $\eta_v = 1 - 0.05\tau$

Cycle biétagé compresseurs à vis, pas d'échangeur sous refroidisseur

- Pression intermédiaire donnée par le constructeur.
- Rendement isentropique de chaque étage de compression : 0.7
- Surchauffe utile (à l'évaporateur) : 3°C
- Surchauffe à l'aspiration des deux compresseurs : 5°C
- Sous refroidissement : 3°C
- Rendement volumétrique donné par la relation : $\eta_v = 1 - 0.05\tau$

Cycle biétagé compresseurs à vis, avec échangeur sous refroidisseur

- Pression intermédiaire donnée par le constructeur.
- Rendement isentropique de chaque étage de compression : 0.7
- Surchauffe utile (à l'évaporateur) : 3°C
- Surchauffe à l'aspiration des deux compresseurs : 5°C
- Sous refroidissement : 3°C
- Rendement volumétrique donné par la relation : $\eta_v = 1 - 0.05\tau$
- Pincement à l'échangeur sous refroidisseur (donnée constructeur) : 10°C .

Cycle biétagé compresseurs compound, sans échangeur sous refroidisseur

- Pression intermédiaire donnée par le constructeur.
- Rendement isentropique de chaque étage de compression : 0.7
- Surchauffe utile (à l'évaporateur) : 3°C
- Surchauffe à l'aspiration BP : 5°C
- Sous refroidissement : 3°C
- Rendement volumétrique donné par la relation : $\eta_v = 1 - 0.05\tau$
- Surchauffe à l'aspiration MP imposée : 10°C

Cycle biétagé compresseurs compound, avec échangeur sous refroidisseur

- Pression intermédiaire donnée par le constructeur.
- Rendement isentropique de chaque étage de compression : 0.7
- Surchauffe utile (à l'évaporateur) : 3°C
- Surchauffe à l'aspiration BP : 5°C
- Sous refroidissement : 3°C
- Rendement volumétrique donné par la relation : $\eta_v = 1 - 0.05\tau$
- Pincement à l'échangeur sous refroidisseur (donnée constructeur) : 6°C .
- Surchauffe à l'aspiration MP imposée : 10°C

R 22

Diagramm 1
mit Unterkühlung
with subcooler
avec sous-refroidisseur
Zwischenstufe
interstage
étage intermédiaire

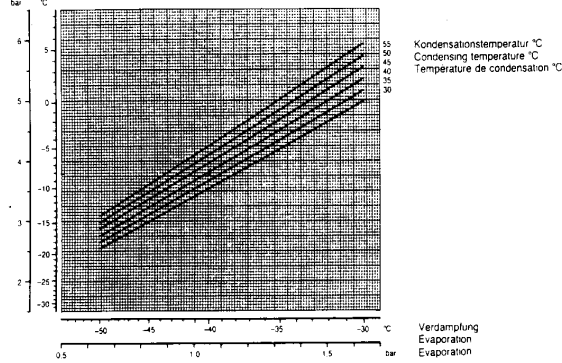
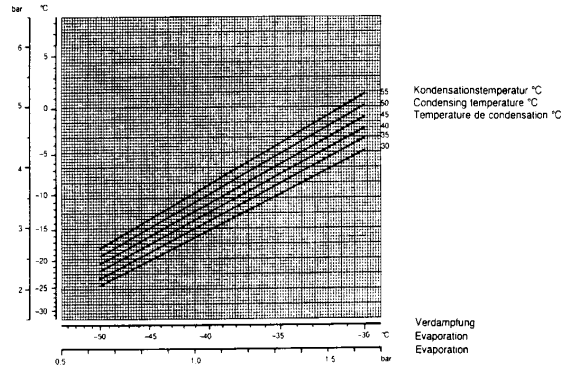


Diagramm 2
ohne Unterkühlung
without subcooler
sans sous-refroidisseur
Zwischenstufe
interstage
étage intermédiaire

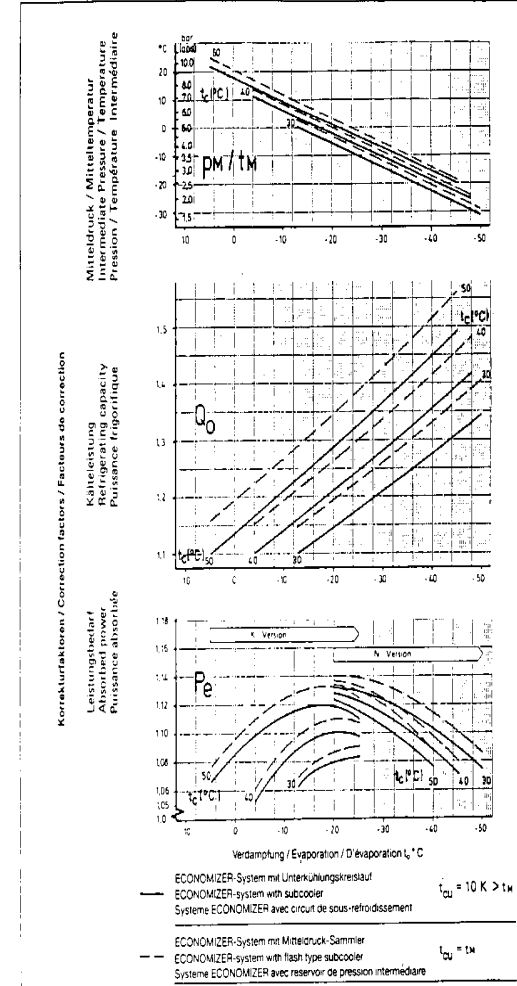


zulässige Abweichung des Zwischendruckes ± 0,5 bar
admissible deviation of interstage pressure ± 0,5 bar
variation admissible de la pression intermédiaire ± 0,5 bar

Compresseur compound

Economizer
Korrekturfaktoren
Correction factors
Facteurs de correction

R 22



Compresseur Vis