

TD N° 1 de Cryogénie

*Généralité sur la détente Joule-Thomson
Utilisation des diagrammes thermodynamiques et calcul des cycles*

Exercice 1 : Détente de Joule-Thomson

Considérons une détente isenthalpique de Joule-Thomson

- 1- Déterminer les coefficients d'étranglement : isenthalpique α_h et isentropique α_s pour un gaz parfait
- 2- Déterminer le coefficient d'étranglement isenthalpique pour un gaz de van der Waal dont l'équation d'état : $(P+a/V^2)(V-b)=RT$ et l'énergie interne est : $U=3RT/2 - a/V$
- 3- Démontrer que la température d'inversion peut s'écrire $T_{inv} = V \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P$
- 4- Evaluer cette température pour les gaz suivants : Azote , Hélium et Hydrogène

On donne pour les gaz:

Hydrogène	($a = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ J.m}^3.\text{mol}^{-2}$; $b = 2,66 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3.\text{mol}^{-1}$)
Hélium	($a = 3,45 \cdot 10^{-3} \text{ J.m}^3.\text{mol}^{-2}$; $b = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3.\text{mol}^{-1}$)
Azote	($a = 0,14 \text{ J.m}^3.\text{mol}^{-2}$; $b = 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3.\text{mol}^{-1}$)

Exercice 2 : Cycle frigorifique à compression de vapeur

Une machine frigorifique à compression de vapeur d'ammoniac (R717) d'une puissance frigorifique $Q_x = 69,75 \text{ KW}$ fonctionne selon le cycle ci après.

Les niveaux de températures de NH₃ dans l'évaporateur et dans le condenseur sont -18°C et $+30^\circ\text{C}$ respectivement et le sous refroidissement a lieu jusqu'à $+10^\circ\text{C}$

- 1-2 : compression de la vapeur saturée à un rendement $\eta_{is} = 0,8$
- 2-3 : refroidissement isobare et condensation à $P = 1,2 \text{ bar}$
- 3-4 : sous refroidissement à titre constant
- 4-5 : détente isenthalpique dans une valve
- 5-1 : échauffement isobare à $P = 0,21 \text{ bar}$

1. Tracer le cycle dans les diagrammes (T, s) et (lnp, h) ;
2. Déterminer l'ensemble de des paramètres (P ; T° ; x ; h et s) des points figuratifs du cycle
3. Calculer la puissance frigorifique de l'installation qf par kg d'ammoniac qui parcourt le cycle ; et en déduire le débit G de l'ammoniac
4. Evaluer le travail moteur réel massique de compression si $\eta_c = 0,9$;
6. Calculer la quantité de chaleur évacuée lors du refroidissement et de la condensation q_k , ainsi que du sous refroidissement q_{SR}
7. Déterminer les puissances de chaque organe
8. Evaluer le coefficient de performance du cycle.

Exercice 3 : Cycle idéal de liquéfaction de l'air

On désire réaliser une liquéfaction de l'air ambiant ($T_o = 300^\circ\text{K}$; $P_o = 0,1 \text{ MPa}$ et $T_x = T_{sat}$) selon un processus idéal : compression isotherme + détente isentropique ou refroidissement isobare + condensation à P, T, x constants .

1. Tracer le cycle idéal de liquéfaction
2. Déterminer l'ensemble de des paramètres (P ; T° ; h et s) des points figuratifs du cycle
3. Evaluer les caractéristiques du cycle pour un kg d'air à savoir :
 - la puissance frigorifique spécifique
 - le travail minimum du cycle W_{min}
 - l'efficacité (coefficient de performance)
 - la consommation d'énergie pour la compression et la condensation
 - la consommation d'énergie spécifique
 - le rendement thermodynamique