

Chapitre 5 : Cycles idéaux de liquéfaction et travail minimal

5.1. Travail minimal :

Nous avons étudié au chapitre précédent le cycle inversé de Carnot ainsi que le cycle idéal de réfrigération à compression de vapeur.

Nous avons constaté que le cycle inversé de Carnot n'était pas réalisable en pratique et que le cycle à compression de vapeur se rapproche de la réalité.

Cependant, ce dernier ne s'effectue pas avec le minimum de dépense de travail ($W_{\min}$).

En effet, le cycle à compression de vapeur comprend une compression isentropique, suivi d'un refroidissement isobare et on sait, d'après le cours de thermodynamique que le travail de compression minimum se pouvait être réalisé qu'à l'aide de la compression isotherme.

Par ailleurs, il comprend une détente isenthalpique que l'on peut remplacer par une détente avec production de travail qui permet de récupérer l'énergie et en même temps qui a l'avantage de provoquer une chute de température plus importante que celle de la détente isenthalpique.

C'est pour ces raisons qu'il devient nécessaire pour les opérations de cryogénie d'introduire un nouveau cycle appelé cycle idéal de la liquéfaction.

5.2. Le cycle idéal de liquéfaction :

Le cycle idéal de liquéfaction représenté par la figure 1 est constitué des évolutions suivantes :

1-2 : évolution isotherme ; elle peut être réalisée à l'aide d'un compresseur refroidi

2-f : détente isentropique : elle est réalisée dans un expander jusqu'au point f
Où le gaz devient liquide.

f-3-1 : évaporation du liquide (f-3) puis réchauffage du gaz (3-1) dans un évaporateur (échangeur de chaleur)

On remarque que les deux premières étapes (1-2 et 2-f) de ce cycle sont identiques à celles de Carnot : compression isotherme suivit d'une détente isentropique. Il s'agit donc là d'un cycle idéal

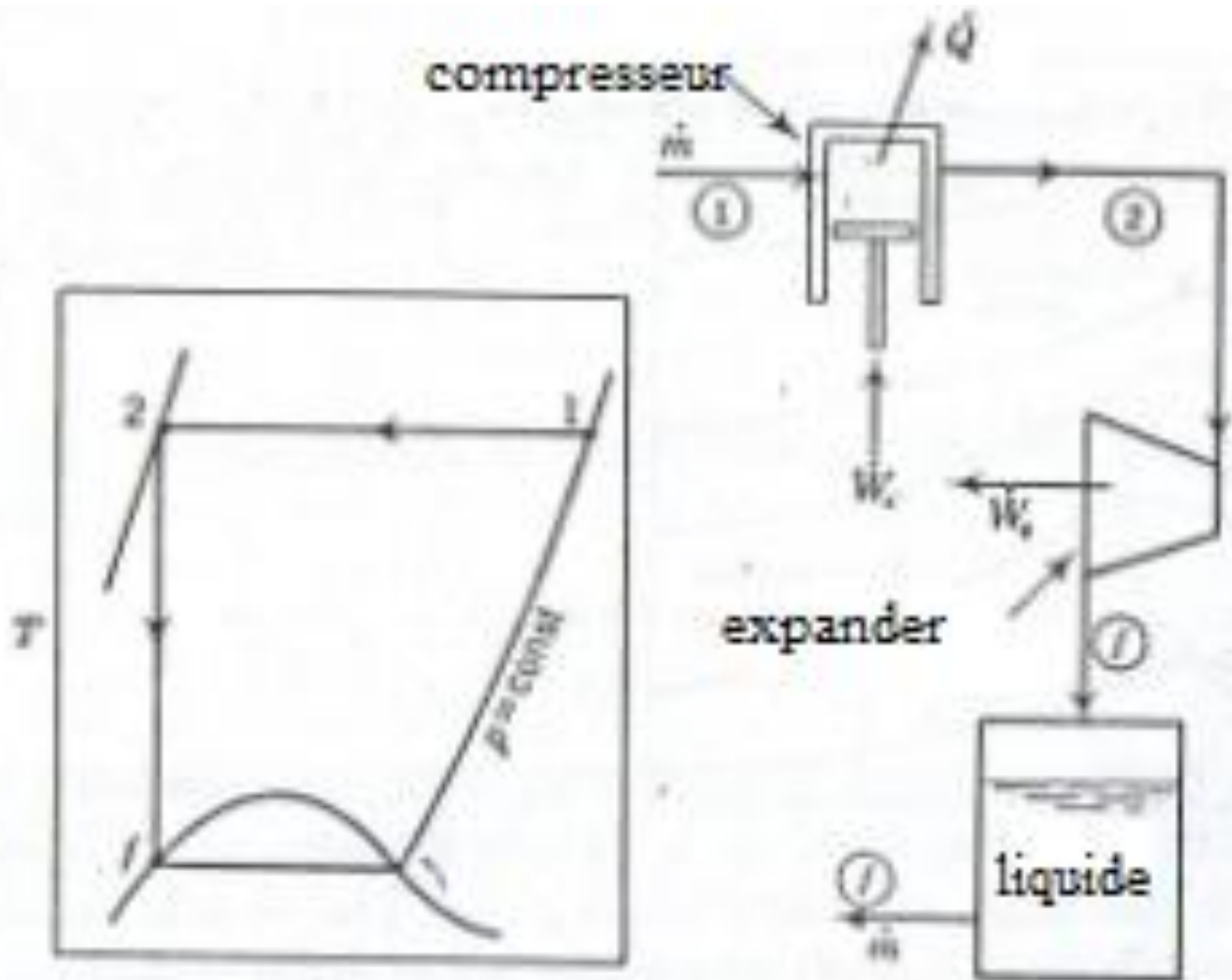


Figure1

5.3.Expression du travail minimal

Au cours de l'évolution 1-2 le compresseur consomme un travail W_C et le gaz perd par refroidissement de la chaleur Q_C .

La chaleur perdu égale : $\dot{Q}_C = \dot{m} T_C (S_2 - S_1)$ car elle se produit de manière

Isotherme si nous appliquant le premier principe de la thermodynamique à cette évolution nous obtenons :

$$\dot{Q}_C + \dot{W}_C = \dot{m}\Delta H$$

$$\dot{Q}_C + \dot{W}_C = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

$$\text{Mais } \dot{Q}_C = \dot{m} T_C (S_2 - S_1) \quad \Rightarrow \quad \dot{m} T_C (S_2 - S_1) + \dot{W}_C = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

$$\text{Donc} \quad \dot{W}_C = \dot{m} (h_2 - h_1) - \dot{m} T_C (S_2 - S_1)$$

Au cours de l'évolution 2-f

Le gaz fournit, dans l'expansion, un travail $\dot{W}_e$ qui d'après le premier principe :

$$\dot{W}_e = \dot{m}(h_f - h_2)$$

$$\dot{W}_{min} = \dot{W}_C + \dot{W}_e = \dot{m} (h_2 - h_1) - \dot{m} T_C (S_2 - S_1) + \dot{m}(h_f - h_2)$$

$$\text{Pour le cycle idéal} \quad \dot{m} = \dot{m}_f$$

$$\frac{\dot{W}_{min}}{\dot{m}} = \frac{\dot{W}_{min}}{\dot{m}_f} = (h_f - h_1) - T_C (S_2 - S_1)$$

$$\text{Mais } S_2 = S_f \quad \text{donc}$$

$$\frac{\dot{W}_{min}}{\dot{m}_f} = (h_f - h_1) - T_C (S_f - S_1)$$

Le travail minimal requis pour liquéfier certains gaz à partir de $P_1=0.1\text{MPa}$ et $T_C=300\text{K}$.

Gaz	$\dot{W}_{min}/\dot{m}_f$ (kJ/kg)
Azote	769.6
Argon	478.5
Hydrogène	11900
Air	741.7
Hélium	6850
Oxygène	638.4
Méthane	1110
Néon	1331

Exercice :

Determiner le travail idéal minimal requis pour liquéfier le Nitrogène ,qui entre au compresseur à pression égale à 101,3kPa et 300K .

Du diagramme T-S du Nitrogène on trouve les Propriétés suivantes :

$h_1=462$ J/g à 101.3MPa et 300K

$h_f=29$ J/g à 101.3MPa liquide saturé

$s_1=4.42$ J/g K à 101.3MPa et 300k

$s_f=0.42$ J/g K à 101.3MPa et liquide saturé

$$\frac{\dot{W}_{min}}{\dot{m}_f} = (h_f - h_1) - T_C(s_f - s_1)$$

$$\frac{\dot{W}_{min}}{\dot{m}_f} = (29 - 462) - 300(0.42 - 4.42) = 767 \text{ J/g}$$

