

# ***CHAPITRE 3***

***Cycles Cryogéniques Combinés***  
***(02 Semaines)***

# **Cycles Cryogéniques Combinés**

Combinaison de la détente Isenthalpique et de la détente Isentropique sur un même procédé  
(Cycle de Claude)

# 1. Cycle de Claude, (Cycle combiné)

Le cycle de Claude a perfectionné le processus de liquéfaction du gaz en associant l'utilisation d'une machine de détente et d'une vanne de détente à effet de J-T

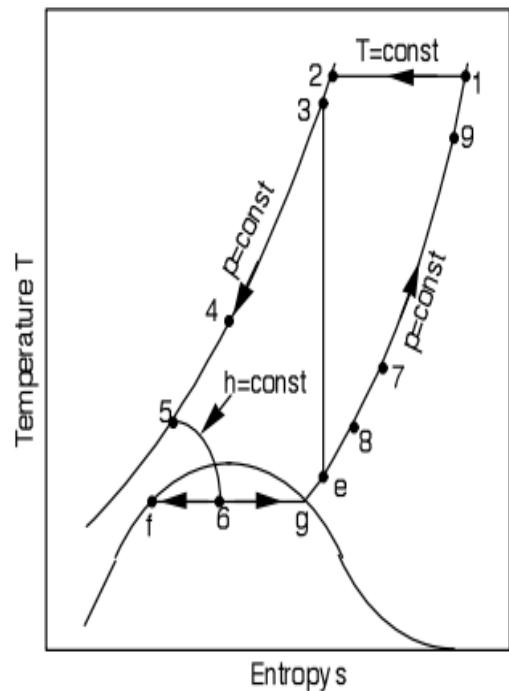
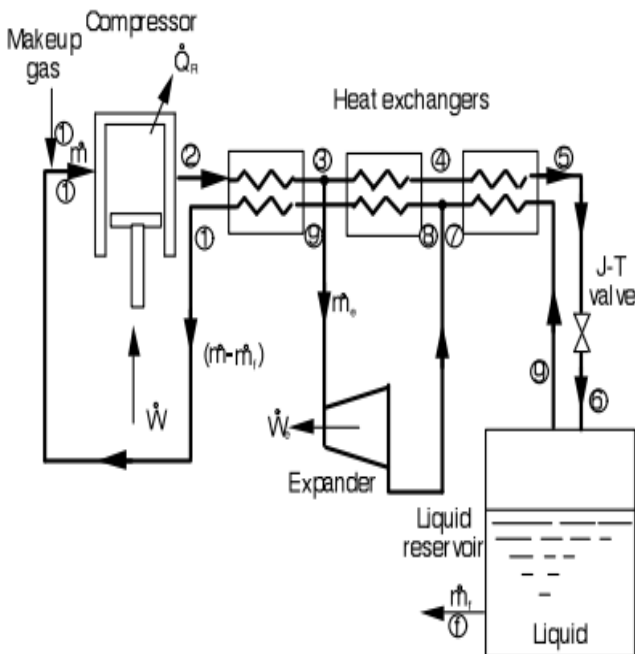
## 2. Composition du cycle de Claude

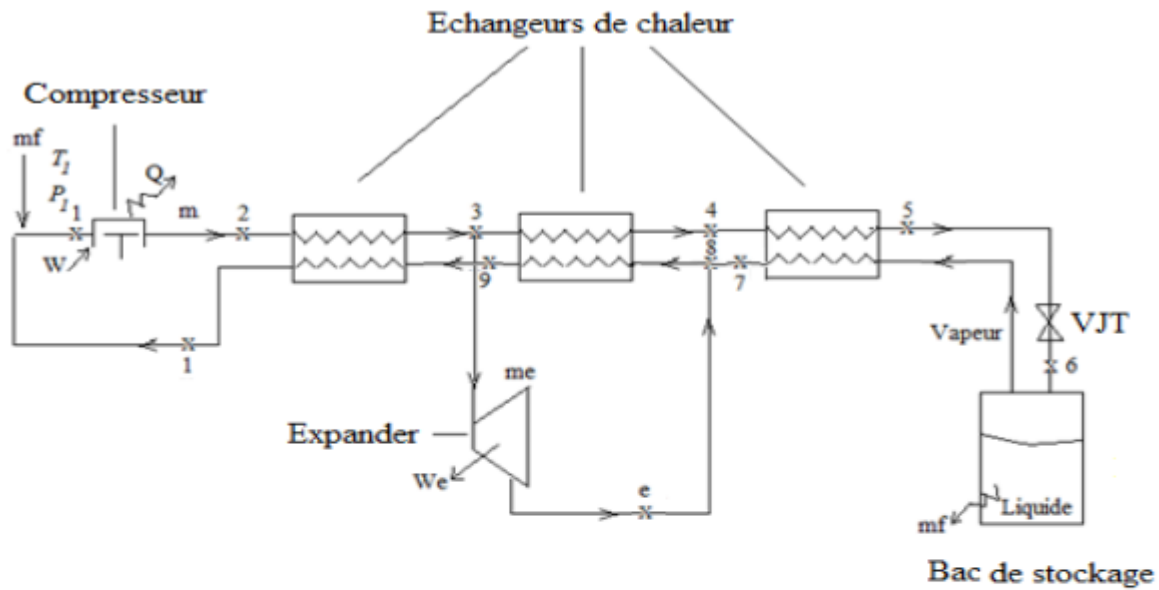
Le cycle de Claude se compose de

- Compresseur.
- Un premier échangeur de chaleur, à la suite duquel une fraction importante du gaz à haute pression passe dans machine de détente et envoyé vers le gaz à basse pression
- Un deuxième et un troisième échangeur, dans lesquels passe le reste du gaz à haute pression
- Une vanne de détente
- Un réservoir du liquide avec séparation du gaz qui retourne au compresseur à travers les trois échangeurs

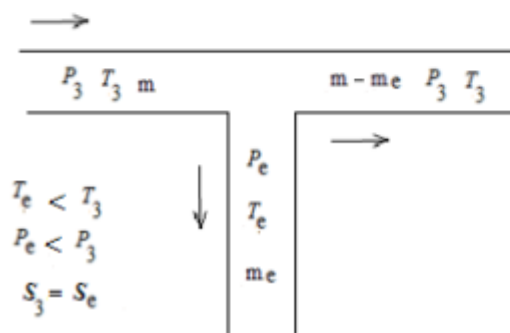
## 3. Principe de fonctionnement

Le cycle de Claude associe deux détente, une isenthalpique et l'autre isentropique. Le début de cycle de Claude est le même que celui de Linde (compression isotherme), puis un premier refroidissement isobare (point 3), en ce point, on prélève une partie du gaz partiellement refroidit dans l'échangeur de chaleur (point 1) qu'on envoi dans la turbine pour y subir une détente isentropique, cette turbine fournit une puissance ( $\dot{W}_E$ ) et ce gaz refroidit rejoint en (point 7), la ligne montante des gaz frais (refus de liquéfaction).

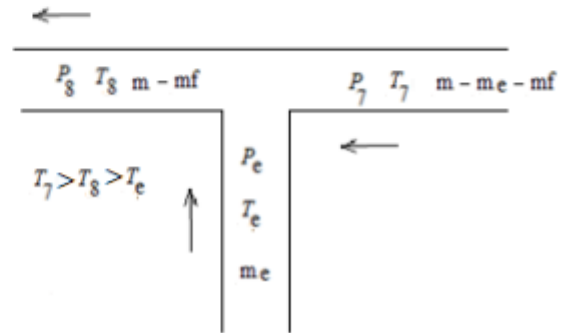




*Au point 3*



*Au point 8*



- L'intérêt de l'utilisation de la machine :

Provoque un refroidissement important du gaz au point (8).

Produire du travail mécanique.

#### 4. Bilan énergétique

##### 4.1. Expression de taux de liquéfaction Y

En faisant le bilan énergétique sur le volume de contrôle ( $\delta$ ):

Le ( $\delta$ ) contient tous les composants sauf le compresseur et la turbine.

$$\dot{m}h_2 + \dot{m}_e h_e = \dot{m}_f h_f + (\dot{m} - \dot{m}_f)h_1 + \dot{m}_e h_3$$

On note :

$$Z = \frac{\dot{m}_e}{\dot{m}} \quad \text{et} \quad Y = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}}$$

La formule de la fraction du gaz liquéfié devient :

$$Y = \frac{(h_1 - h_2)}{(h_1 - h_f)} + z \frac{(h_3 - h_e)}{(h_1 - h_f)}$$

**Travail par unité de masse du gaz comprimé ( $\frac{\dot{W}_c}{\dot{m}}$ )**

$$\dot{W}_c = \dot{W}_{c1} + \dot{W}_e$$

- Le travail du compresseur :

$$-\dot{W}_{c1} = \dot{m}[(h_2 - h_1) - T_1(S_2 - S_1)]$$

$$\dot{W}_{c1} = \dot{m}[(h_1 - h_2) - T_1(S_1 - S_2)]$$

- Le travail de la turbine :

L'application du premier et deuxième principe de la thermodynamique donne :

$$\dot{W}_e = -\dot{m}_e(h_3 - h_e)$$

- La totalité du travail :

$$\frac{\dot{W}_c}{\dot{m}} = (h_1 - h_2) - T_1(S_1 - S_2) - Z(h_3 - h_e)$$

**Travail par unité de masse liquéfiée ( $\dot{W}_c/\dot{m}_l$ )**

$$\frac{\dot{W}_c}{\dot{m}_l} = \frac{1}{Y} [(h_1 - h_2) - T_1(S_1 - S_2) - Z(h_3 - h_e)]$$