

## IV- Principales méthodes industrielles d'obtention des basses températures

En pratique, la détente d'un gaz réel sous pression s'accompagne souvent d'un refroidissement selon plusieurs méthodes :

- Détente isenthalpique de Joule-Thomson.
- Cycles inversés de Brayton à détente isentropique.
- Procédé mixte associant détente isenthalpique et détente isentropique (Cycle de Claude)
- Cascades classiques ou intégrées

**Entropie** : *Caractérise l'aptitude de l'énergie contenue dans un système à fournir du travail, ou plutôt son incapacité à le faire : plus cette grandeur est élevée, plus l'énergie est dispersée, homogénéisée et donc moins utilisable (pour produire des effets mécaniques organisés)*

# IV- Principales méthodes industrielles d'obtention des basses températures

## 1. Détente isenthalpique de Joule-Thomson

Détente isenthalpique de Joule-Thomson est une technique de liquéfaction des gaz pour la séparation des mélanges gazeux. Il permet de liquéfier les mélanges gazeux comme l'air ainsi que les gaz atmosphériques tels l'oxygène, l'azote, et l'argon en quantités industrielles. Il peut ainsi servir en réfrigération pour les températures comprises entre 77 et 100. sa première application industrielle est aménagée par Carl Von Linde (cycle de Linde)

**Isenthalpique** : *Un processus isenthalpique est un processus au cours duquel l'enthalpie du système reste constante.*

**Enthalpie** : *Est une quantité reliée à l'énergie d'un système thermodynamique. Elle est notée  $H$ . Elle comprend l'énergie interne du système  $U$ , à laquelle est ajouté le produit de la pression  $P$  par le volume  $V$  :  $H=U+PV$*

## IV- Principales méthodes industrielles d'obtention des basses températures

L'air déshydraté est comprimé de 1 atm à 40 atm dans le compresseur C puis de 40 atm à 200 atm dans le compresseur C' il est ensuite refroidi dans un échangeur R à la température ambiante par l'eau puis à 213 K par l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) liquide et passe ensuite dans le serpentin s et se détente par le robinet r jusqu'à 40 atm et le liquide est récupéré en 2 et la quantité non liquéfiée retourne Vers le compresseur C' en traversant le serpentin S (Fig. 1).

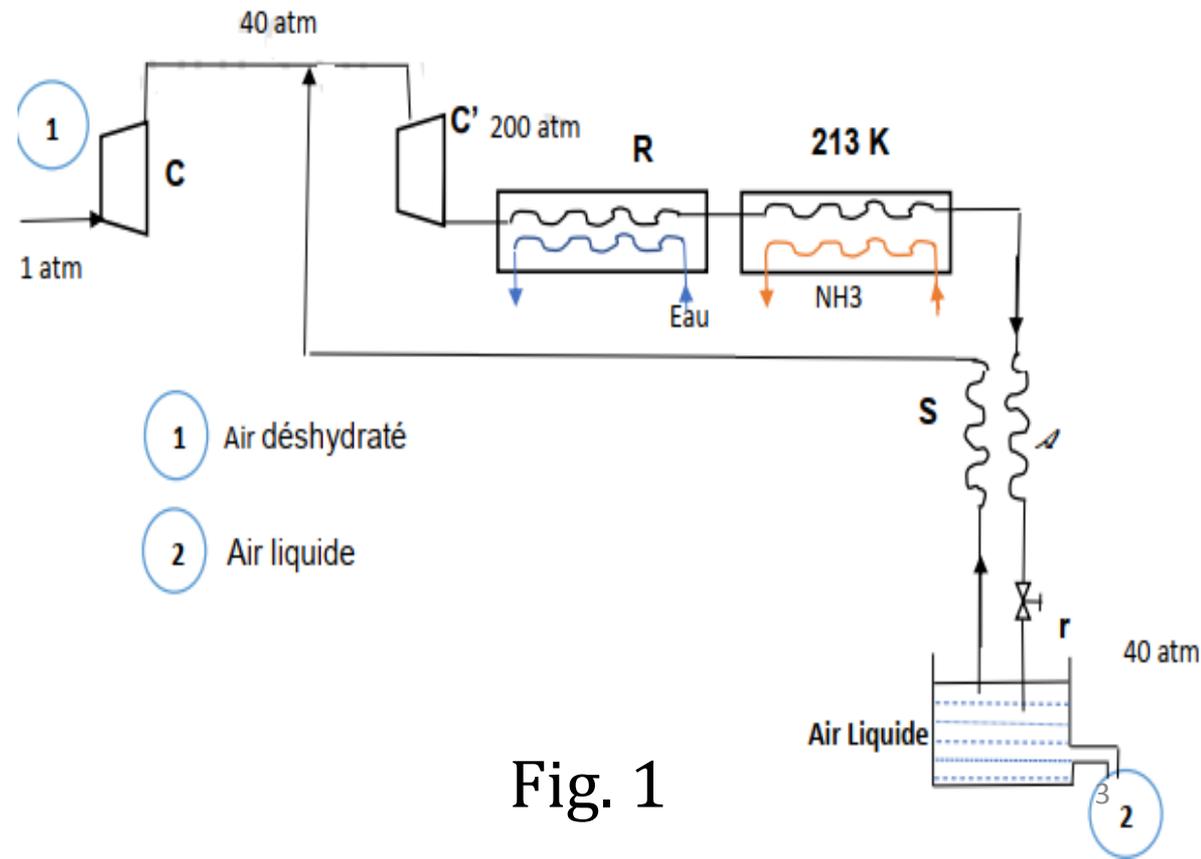


Fig. 1

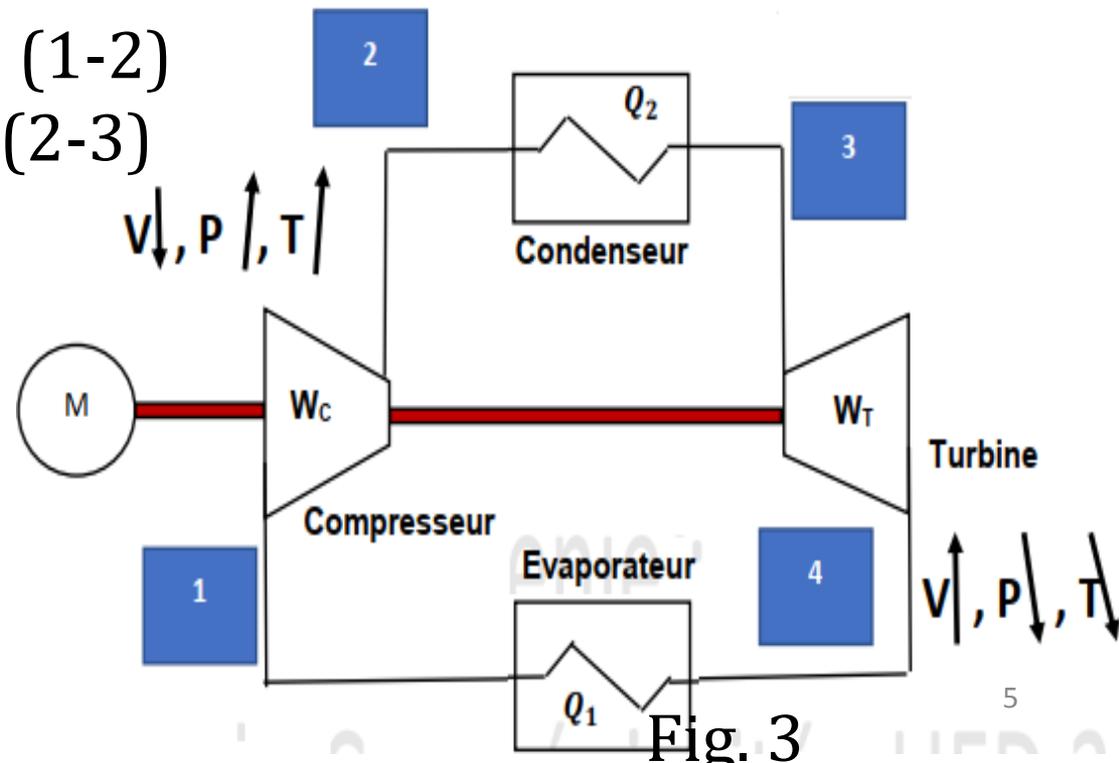


# IV- Principales méthodes industrielles d'obtention des basses températures

## 2. Cycles inversés de Brayton à détente isentropique

Est un cycle qui réalise un effet **frigorigène** en inversant le cycle de Brayton, c'est-à-dire, un gaz comprimé dans une machine, sa température augmente, un gaz détendu dans une machine produisant un travail (turbine ou machine à piston ...) sa température baisse (Fig. 3).

- Compression adiabatique (1-2)
- Refroidissement isobare (2-3)  
dans un condenseur
- Détente (3-4) dans une turbine adiabatique
- Evaporation (4-1)



# IV- Principales méthodes industrielles d'obtention des basses températures

Les diagrammes correspondants sont donné ci-dessous (Fig. 4)

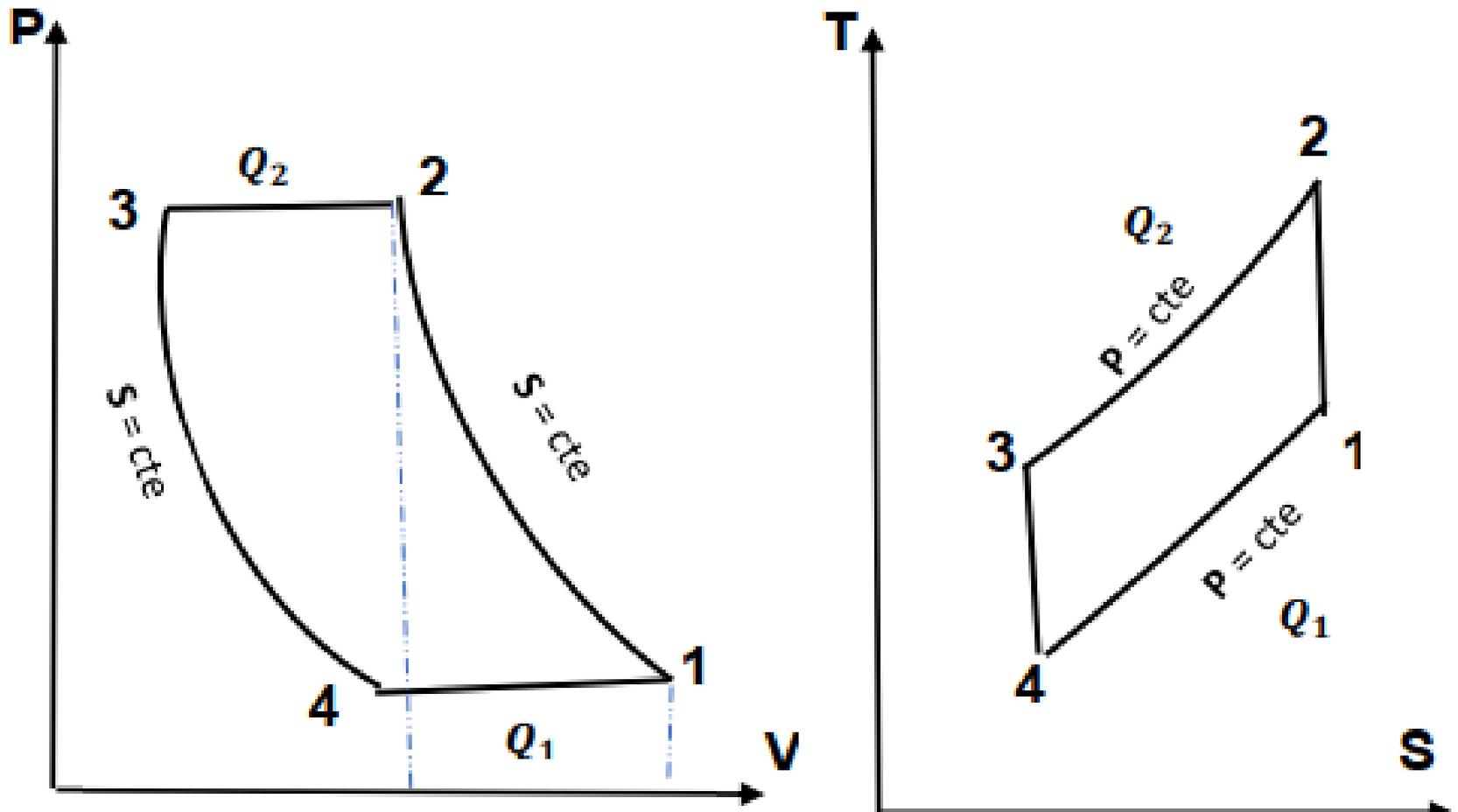


Fig. 4

# IV- Principales méthodes industrielles d'obtention des basses températures

Les transformations 2' et 4' sont polytropique (réelle) (Fig. 5).

-Compression adiabatique (1-2) isentropique

-Compression polytropique (1-2')

-Refroidissement isobare (2-3) dans un condenseur

-Détente isentropique (3-4) dans une turbine adiabatique

-Détente polytropique (3-4')

Evaporation (4-1).

Alors pour un cycle :

$$W_{net} = W_C - W_T$$

$$h_2 - h_1 = W_C \text{ (RECU)}$$

$$h_2 - h_3 = Q_2$$

$$h_3 - h_4 = W_T \text{ (FOURNI)}$$

$$h_1 - h_4 = Q_1$$

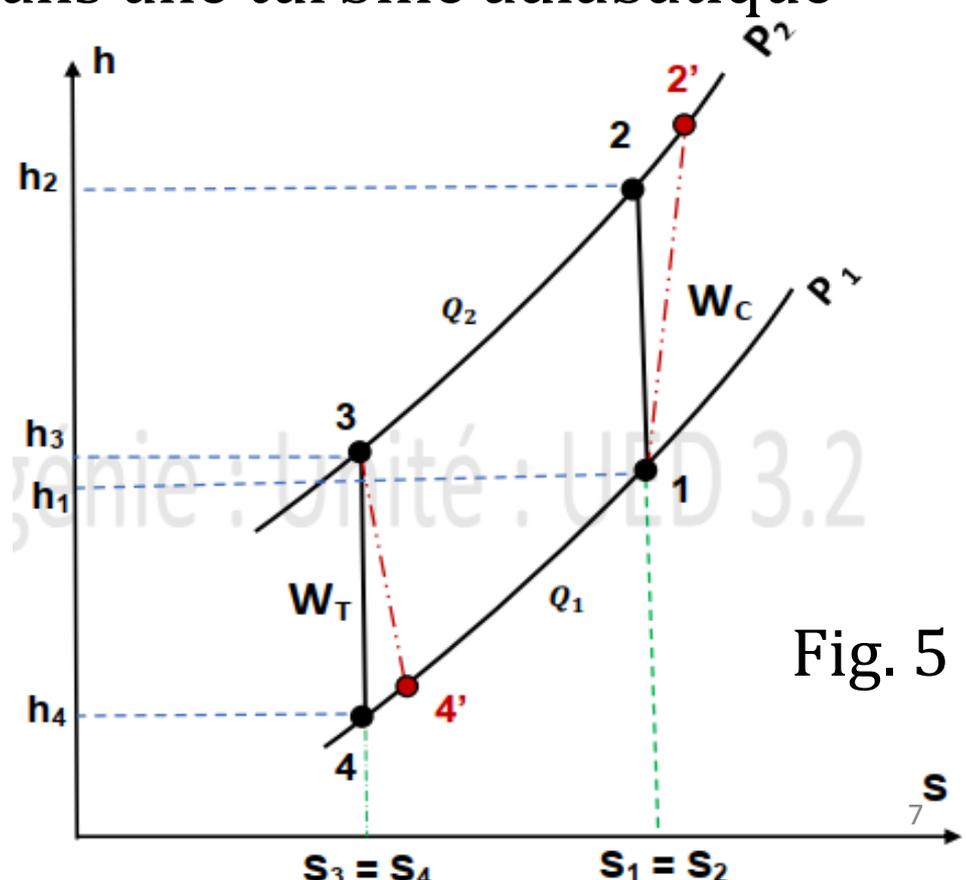


Fig. 5

## IV- Principales méthodes industrielles d'obtention des basses températures

Donc le travail net devient :

$$W_{net} = (h_2 - h_1) - (h_3 - h_4)$$

Les rendements, de la turbine et du compresseur sont :

$$\eta_T = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4f}} \quad \text{et} \quad \eta_C = \frac{h_2 - h_1}{h_{2f} - h_1}$$

# IV- Principales méthodes industrielles d'obtention des basses températures

## 3. Cycle de Claude

Est un cycle mixte de la détente isenthalpique Joule-Thomson et la détente isentropique. Dans cette machine le gaz aspiré est comprimé isothermiquement de  $P_1$  à  $P_2$  à 40 atm, il est refroidi dans l'échangeur 1 à contre courant suivant l'isobare (2-3) puis Une fraction de ce gaz passe dans le cylindre à détente pour être détendu à pression atmosphérique suivant l'isentropique (3-5) mais en réalité suivant (3-4) et refroidi l'air comprimé dans l'échangeur 2 et 1 la fraction néant pas passer dans le système de détente 6. (6-7) donne lieu à la liquéfaction de l'air (Fig. 6)

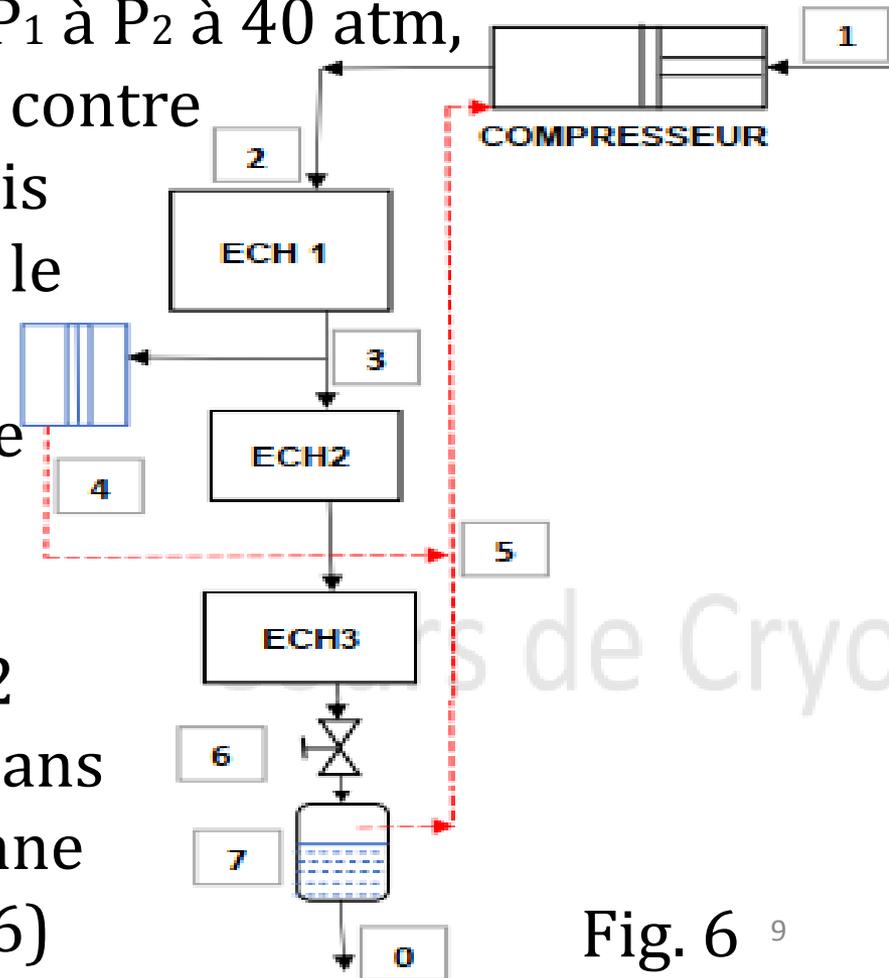


Fig. 6 9

# IV- Principales méthodes industrielles d'obtention des basses températures

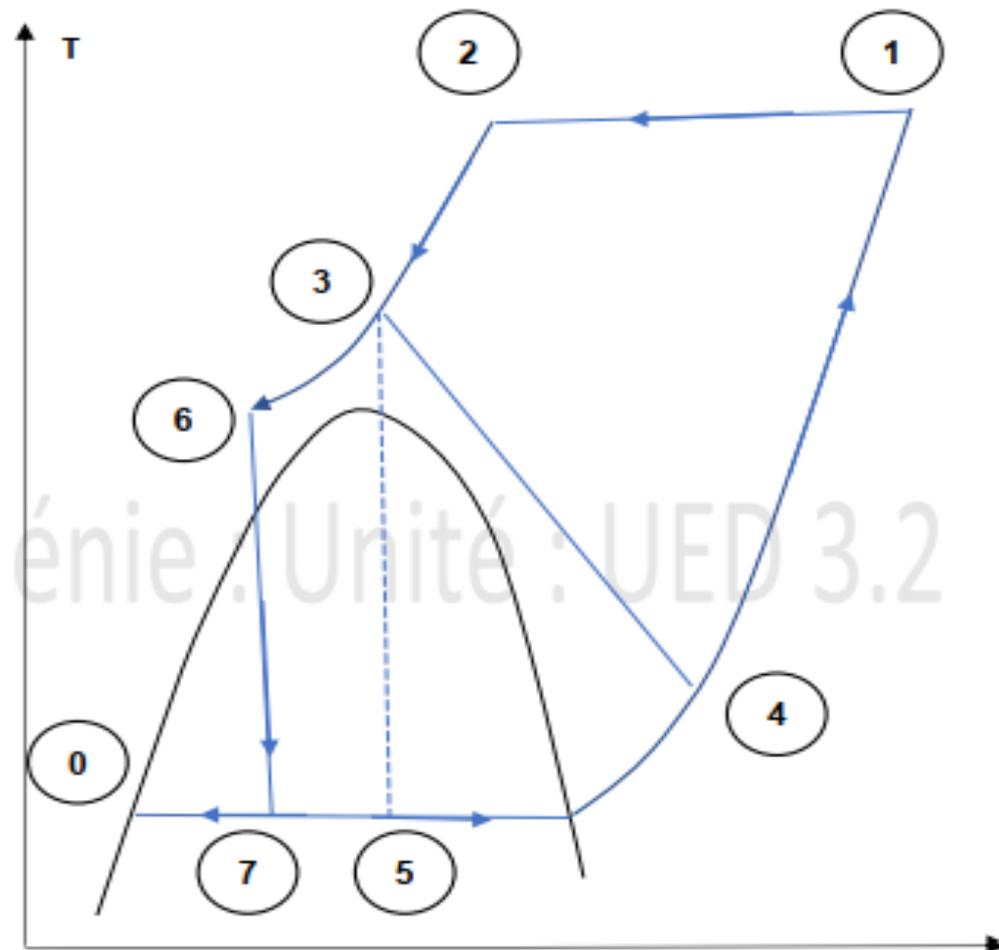
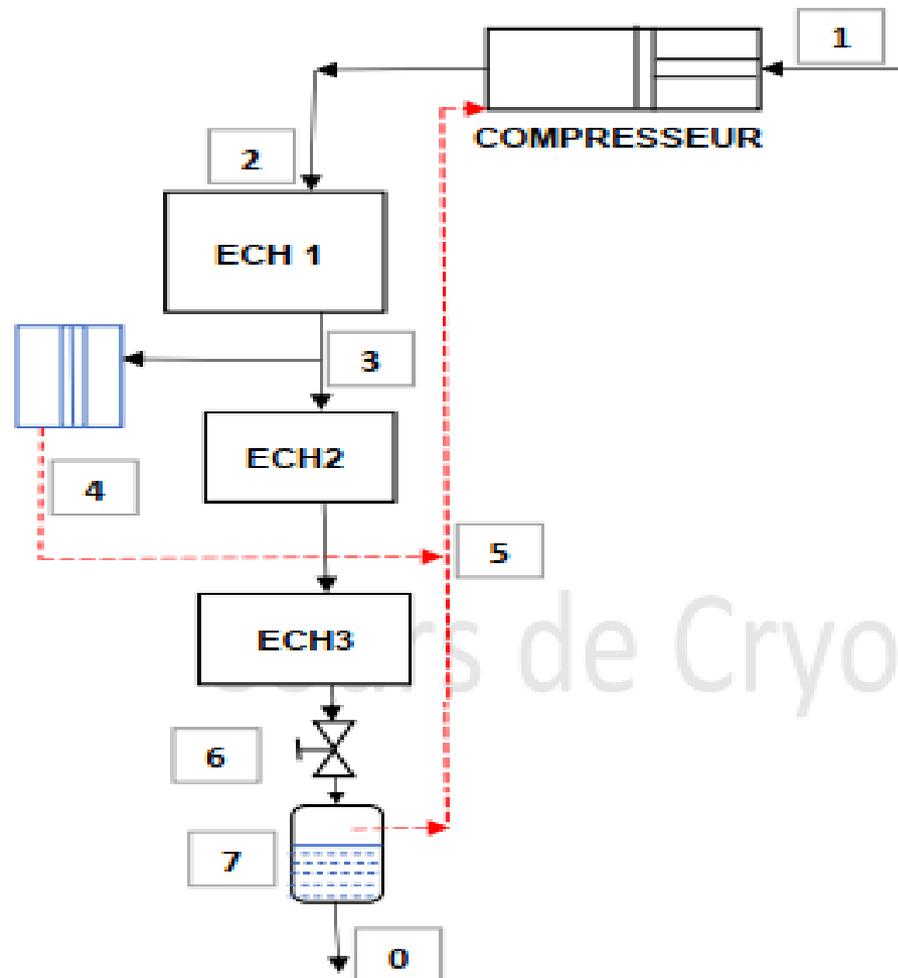


Fig. 7

# IV- Principales méthodes industrielles d'obtention des basses températures

## 4. Cycle en cascades classiques ou intégrées

Ces cycles sont constituées de plusieurs machines frigorifiques simples utilisant des fluides frigorigènes différents, la source froide d'une machine constituant la source chaude de la machine inférieure. Dans la figure 8 destiné à liquéfier l'azote: l'ammoniac est condensé à  $20^{\circ}\text{C}$  sous pression et vaporisé à  $-43^{\circ}\text{C}$  après détente l'éthylène est condensé à  $-43^{\circ}\text{C}$  sous pression grâce à l'évaporation de l'ammoniac et est vaporisé à  $-100^{\circ}\text{C}$  après détente le méthane est condensé à  $-100^{\circ}\text{C}$  sous pression et vaporisé à  $-161^{\circ}\text{C}$  après détente l'azote est condensé à  $-161^{\circ}\text{C}$  sous pression.

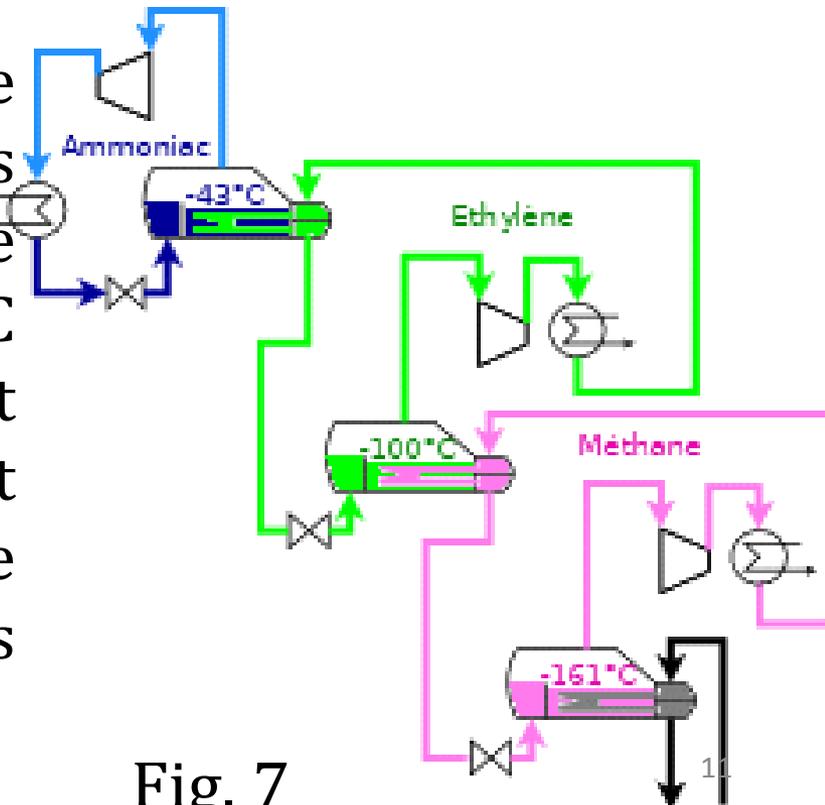


Fig. 7