

**Les liquides cryogéniques :**

Les gaz qui ne peuvent être liquéfiés à température ambiante par seule augmentation de la pression, sont appelés cryogéniques. A l'état liquide, ou solide, comme dans le cas de la carboglace, les cryogéniques sont utilisés comme produits de réfrigération.

Les principaux liquides utilisés :

N<sub>2</sub> liquide dans la gamme [64-104 K]; H<sub>2</sub> liquide [14-30K] ; He liquide [1-5K]. Cependant, dans les applications particulières dans le labo et dans l'industrie le CH<sub>4</sub>, Ar, O<sub>2</sub>, l'air, le F, Kr, le Xe., le deutérium et l'hélium sont des fluides dont l'usage se révèle intéressant du point de vue économique et pratique.

**Procédés de séparation des gaz**

La méthode la plus efficace de séparation des gaz permanents et des mélanges gazeux ou liquides et des mélanges liquide-gaz est la méthode cryogénique c'est-à-dire séparer le mélange à très basse température. La méthode employée pour séparer le mélange est celle de

la rectification, on prend par exemple l'air qui est composé de l'azote de l'oxygène, du CO<sub>2</sub> et de l'argon, il est nécessaire de connaître les températures d'ébullition des éléments à séparer.

**Tableau 1:** Exemple de température d'ébullition à  $p$  et  $p$  normale

fluide	He <sub>3</sub>	He <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	Ne	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ar	CH <sub>4</sub>
T d'eb (K)	3.2	4.2	20.4	27.1	77.1	90.2	87.3	111.7

### L'importance du diagramme TS

Le diagramme TS est la base de séparation d'un mélange gazeux ou liquide-vapeur ou liquide, il nous permet de comprendre la nature de notre mélange.

- Un gaz sec qui se trouve loin de la courbe de saturation et dépourvu de son liquide.
- Un liquide sec est dépourvu de sa vapeur. Ce type de fluide se trouve aussi loin de la courbe de saturation.
- La vapeur saturante ou liquide saturé se trouve dans la courbe de saturation.

#### Note :

- L'entropie faible signifie que le mélange est sous forme liquide.
- L'entropie du gaz est plus importante à celui du liquide car le mouvement des molécules de gaz est plus important que celui du liquide

### Paramètres de système performant

Il existe trois moyen pour indiqué les performances d'un système de liquéfaction soit par :

- Le travail requis par unité de masse du gaz compressé
- Le travail requis par unité de masse de gaz liquéfié
- La fraction totale du flux de gaz liquéfié

Dans tous les systèmes de liquéfaction, on doit minimiser le travail requis et augmenter au maximum la fonction du gaz liquéfié. Ses moyens de fonctionnement différent d'un gaz à un autre, pour cela on doit tenir compte d'un autre paramètre qui permettra la comparaison du même système utilisé pour différents fluides : qui est la Figure of merit FOM. Elle est définie comme le travail théorique minimal requis pour le système:

Sachant que le travail de la FOM varie entre 1 et 0 elle donne la mesure au quel le système réel approche les performances du système idéal.

Il existe plusieurs paramètres de performance qui s'appliquent aux composants du système réel, cela inclut :

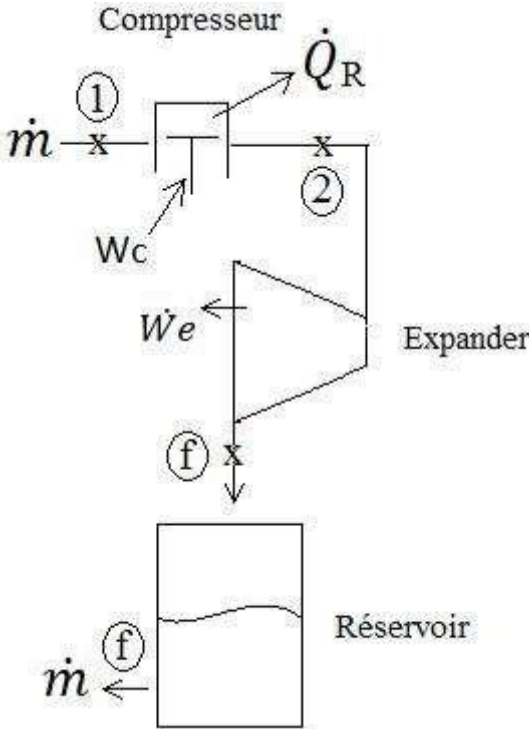
- L'efficacité des compresseurs et des expanders adiabatique
- Efficacité mécanique des compresseurs et des expanders
- L'efficacité des échangeurs de chaleur
- Les chutes de pression dans les canalisations, les échangeurs de chaleur, etc
- Transfert de chaleur de l'environnement ambiant vers le système

### **Le système thermodynamique idéal :**

Le système idéal est un procédé de performance qui représente un système réversible, l'énergie employée pour séparer un mélange est la même pour les réunir une autre fois.

On dit qu'un système est idéal thermodynamiquement, mais pratiquement il n'est pas idéal, Le cycle le plus parfait en thermodynamique est le cycle de Carnot.

La liquéfaction est un processus d'un système ouvert donc le cycle idéal est indiqué avec le schéma du système :



**Figure 1:** Système de liquéfaction thermodynamique idéal

Le gaz à liquéfier est comprimé réversiblement et iso thermiquement de l'état ambiant point 1 à une certaine pression point 2 cette pression est choisie du sorte que le gaz devient liquide saturé sur une détente isentropique réversible par l'expander au point f l'état finale au point f est prise à la même pression que la pression initiale au point 1 la pression attendue à la fin de la compression isotherme est extrêmement haute de l'ordre de 70 à 80 Gpas pour l' $N_2$  ce qui est impossible pratiquement d'atteindre ses pression dans un système de liquéfaction , ce qui est la raison à la quelle il ne peut pas être un système idéal pratiquement.

Dans le tableau suivant on trouve la liste de quelques travail requis idéal pour quelques gaz pour un point (1) pris à 101.3 Kpas et à 300K.

**Tableau 2 :** Point d'ébullition et le travail idéal de liquéfaction de quelques gaz :

gaz	Pt d'ébullition (K)	Travail idéal de liquéfaction ( $-w_i/m_f$ ) (Kj/Kg)
He <sub>3</sub>	3.19	8178
He <sub>4</sub>	4.21	6819
H <sub>2</sub>	20.27	12019
N <sub>2</sub>	77.36	768.1
Air	78.8	738.9
CH <sub>4</sub>	111.7	1091
O <sub>2</sub>	90.18	635.6

### **3. Système de séparation de l'air :**

Il existe plusieurs systèmes de séparation de l'air qui passe par plusieurs étapes :

- La compression à l'aide d'un compresseur
- Refroidissement en utilisant des échangeurs de chaleur
- La séparation des mélanges en passant à la fin à travers la colonne de séparation.

Le système le plus simple connu est le système de LIND Hampson simple dont sa simplicité réside dans le nombre de compresseur, d'échangeur, résistance de la J.T, et les turbines à gaz utilisées.