

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of higher education and scientific research

وزارة التعليم العالي والبحث العلم

Mohamed Boudiaf University of M'sila

جامعة محمد بوضياف بالمسيلة

Technology faculty

كلية التكنولوجيا

Department of mechanical engineering

قسم الهندسة الميكانيكية

Cours de cryogénie

L3 Energétique

Sommaire

- 1- Introduction et rappels thermodynamiques**
- 2- Cycles à gaz (Brayton) – étude du turboréacteur**
- 3- Cycles à changement de phase (Rankine)**
- 4- Principales méthodes industrielles d'obtention des basses températures**
- 5- Cycles idéaux de liquéfaction et travail minimal**
- 6- Cycles réels de liquéfaction**
- 7- Séparation des gaz**

I- Introduction et rappels thermodynamiques

I.1. Rappels

I.1. Cryogénie

Le terme cryogénie est dérivé du :

Kruo (grec) = froid

Genesis (grec) = produire

I.1.1. Définition

La cryogénie est la science qui s'intéresse à l'étude des très basses températures inférieures à 120 K, comment les produire, les maintenir et les utiliser.

I.1.2. Fluides cryogéniques

Sont des gaz liquéfiés par refroidissement à une température inférieure à leurs points d'ébullition (Tableau 1). L'argon, l'hélium, l'hydrogène, l'azote et l'oxygène sont les gaz industriels les plus couramment transportés, manipulés et stockés sous forme liquide, à température .

I- Introduction et rappels thermodynamiques

Tableau I.1 Point d'ébullition des fluides cryogéniques

Gaz	Point d'ébullition (°C)
Acétylène	-84
Acide chlorhydrique	-85
Azote	-195
Argon	-185
Dioxyde de carbone	-78
Hélium 3	-269
Hélium 4	-268
Hydrogène	-252
Méthane	-161
Monoxyde de carbone	-192
Oxygène	-183
Trifluorure de bore	-100

I- Introduction et rappels thermodynamiques

I.1.3. Applications de la cryogénie

La cryogénie est ouverte à plusieurs domaines d'application comme :

- La conservation des aliments à l'aide d'azote liquide,
- La suspension du métabolisme,
- L'étude de la supraconductivité (absence de résistance électrique)
- L'étude de la superfluidité (absence de viscosité pour un liquide)
- La transformation en une fine poudre de toutes sortes de matières
- La récupération de plus de 90% des gaz destructeurs de la couche d'ozone,
- La création, à partir d'azote liquide, de toutes sortes de neiges.
- Propulsion des fusées

I- Introduction et rappels thermodynamiques

I.2. Rappels thermodynamiques

I.2.1. Comportement d'un fluide cryogénique

Il existe trois formes d'états de la matière (Fig. 1)

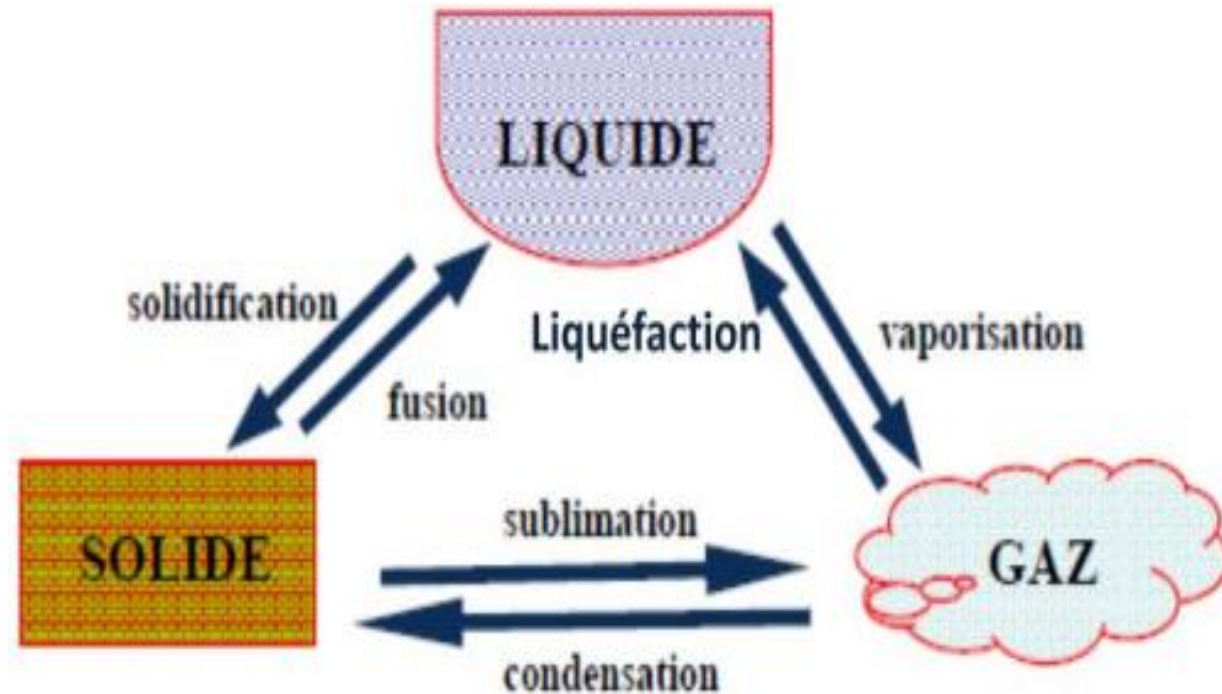


Fig. 1 Formes d'états de la matière

I- Introduction et rappels thermodynamiques

I.2.2. Diagramme de phase

C'est le diagramme d'équilibre des phases, qui représente les différentes phases d'un corps pur en fonction de pression et de température (Fig. 2). La transition d'une phase à l'autre nécessite un apport de chaleur que ce soit un apport de chaleur sensible ou latente.

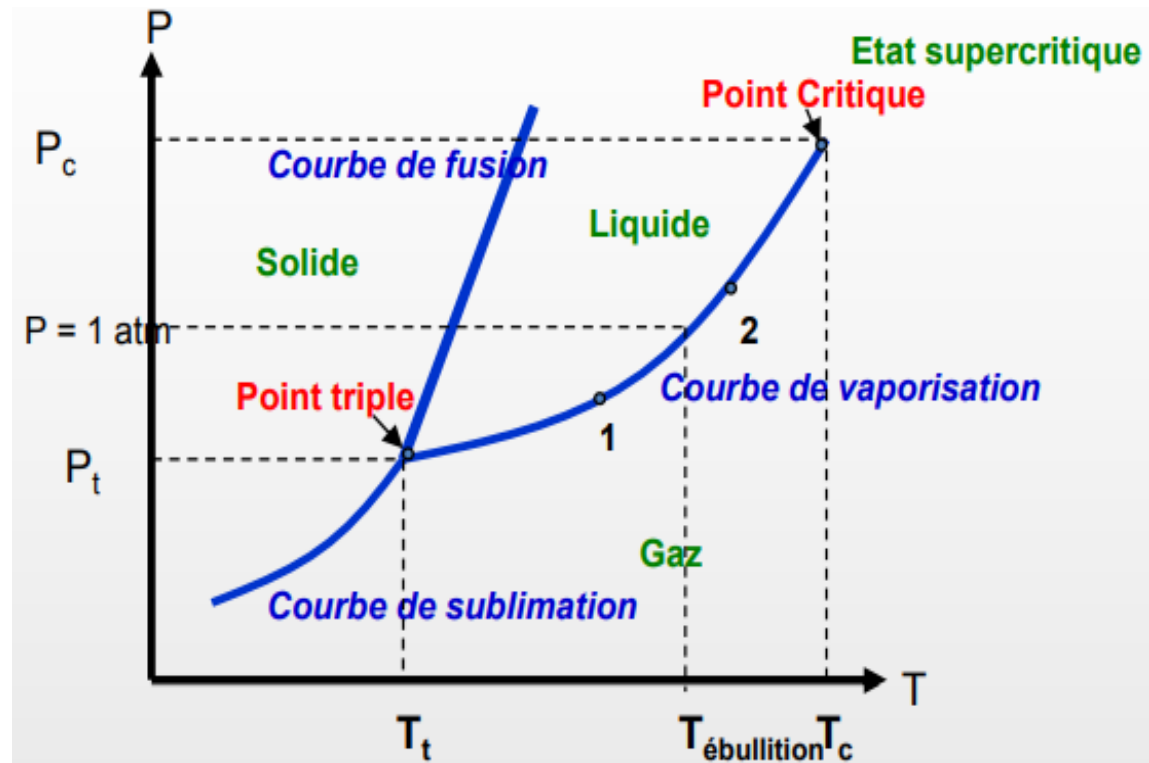


Fig. 2

I- Introduction et rappels thermodynamiques

I.2.2.1. Point triple (P_t, T_t)

C'est la coexistence des trois phases ; solide, liquide et gaz en équilibre.

I.2.2.2. Point critique (P_c, T_c) Au delà de ce point, il n'y a plus de différence entre le liquide et le gaz : état supercritique monophasique.

I.2.2.3. Tension de vapeur

C'est la pression du gaz en équilibre avec le liquide ou le solide, cette tension de vapeur suit une loi du type :

$$\log(P) = -\frac{A}{T} + B$$

Où A et B sont des constantes spécifiques du corps

I- Introduction et rappels thermodynamiques

Chaleur sensible (Q_s) : Quantité de chaleur échangée sans changement de phase mais avec changement de température

$$Q_s = mC_p \Delta T$$

Chaleur latente (Q_l): Quantité de chaleur échangée avec un changement de phase à une température constante

$$Q_s = mL_v$$

I- Introduction et rappels thermodynamiques

I.3. L'obtention du refroidissement

L'idée se repose l'utilisation d'un fluide cryogénique à basse température qui se réchauffe en contact d'un corps solide. Généralement les types de procédés cryogéniques sont basées sur les le détente isentropique

I.3.1. Détente de Joule-Thomson

Un gaz ($P_1 V_1 T_1$) rentre dans une conduite isolée, à travers une vanne, un refroidissement brusque est provoqué avec une chute de pression (Fig. 3) avec ($P_2 V_2 T_2$).

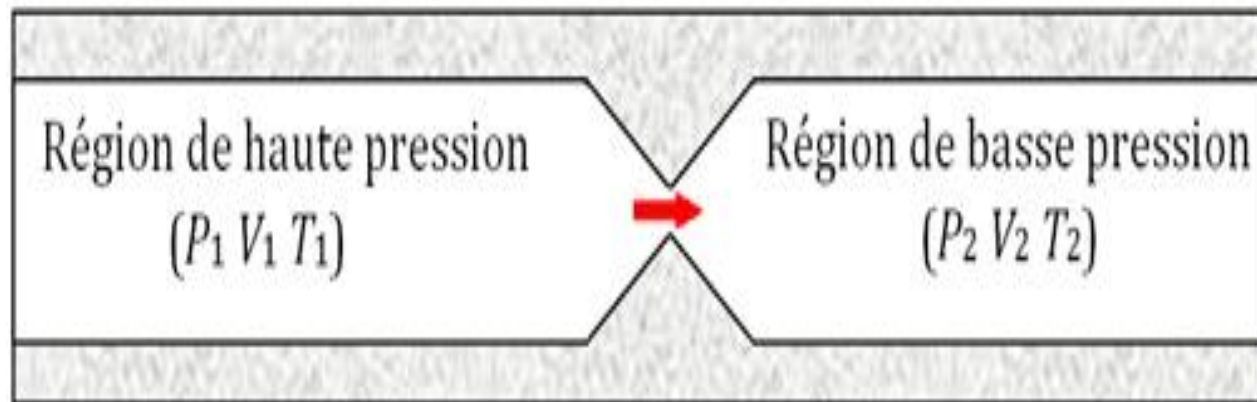


Fig. 3

I- Introduction et rappels thermodynamiques

$$\Delta U = Q + W = W_1 + W_2$$

Le travail de compression W_1 (Travail reçu)

$$W_1 = - \int_{V_1}^0 P_1 dv = P_1 V_1$$

Le travail de détente W_2 (Travail cédé)

$$W_2 = - \int_0^{V_2} P_2 dv = -P_2 V_2$$

La variation de l'énergie interne

$$\Delta U = U_2 - U_1 = P_1 V_1 - P_2 V_2 \Rightarrow U_2 + P_2 V_2 = U_1 + P_1 V_1$$

$$\Delta U = U_2 - U_1 = P_1 V_1 - P_2 V_2 \Rightarrow U_2 + P_2 V_2 = U_1 + P_1 V_1$$

$$U_2 + P_2 V_2 = H_2 \text{ et } U_1 + P_1 V_1 = H_1$$

On peut conclure donc

$$H_2 = H_1 \Rightarrow \Delta H = 0$$