

## Chapitre 1

### *Rappel sur les principaux processus d'obtention des basses températures*

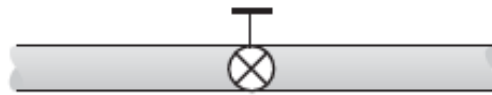
#### 1.1.Introduction

L'obtention du froid par les moyens des gaz liquides a été assurée au départ en soumettant les gaz à de fortes pressions puis en les détendant.

##### 1.1.1. Détente de Joule-Thomson

La détente de joule Thomson (J/T) s'effectue au moyen d'un orifice réduit à travers lequel s'écoule un gaz se  $P_1$  à  $P_2$  (avec  $P_1 > P_2$ ), le gaz étant isolé thermiquement.

On appelle également cette détente « laminage du gaz ».



a) Soupape ajustable.



b) Bouchon poreux.



c) Tube capillaire.

Figure 1.1 Exemples de soupapes d'étranglement

Les soupapes d'étranglement ou de détente (ou détendeurs) comme les soupapes ajustables, les bouchons poreux ou les tubes capillaires sont des dispositifs utilisés pour abaisser la pression au sein d'écoulements.

La détente se fait sans produire du travail. La température du fluide peut toutefois chuter de façon significative. C'est la raison pour la quelle ce type de soupapes est habituellement employé dans les systèmes de réfrigération et de climatisation. Parce que les soupapes de détente sont de petits dispositifs, les écoulements qui les traversent n'ont guère le temps d'échanger de la chaleur avec le milieu extérieur. Par conséquent, ils seront considérés comme adiabatiques ( $Q=0$ ). Aucun travail n'intervient durant l'évolution ( $W=0$ ), et la variation des énergies cinétique et potentielle est négligeable. Dans ce cas, l'équation de bilan d'énergie.

$$Q + \cancel{W} = \Delta H + \cancel{\Delta E_p} + \cancel{\Delta E_c}$$

Et comme le gaz est isolé thermiquement  $\Rightarrow \Delta H = 0$   $H_1 = H_2$

- Pour un gaz parfait la détente de Joule -Thomson est également isotherme.

$$\Delta H = 0 \Rightarrow Cp\Delta T = 0 \Rightarrow T_1 = T_2$$

- Pour un gaz réel la détente devrait s'accompagner d'une baisse de température (c'est-à-dire un refroidissement du gaz)

On a pourtant constaté que dans certaines conditions, la détente de Joule Thomson s'accompagne d'un réchauffement du gaz.

Des études approfondies ont permis de clarifier la question.

On caractérise les propriétés d'un gaz vis-à-vis de la détente de Joule Thomson par :

Le **coefficient de Joule-Thompson** décrit la variation de la température d'un fluide en fonction de la pression durant une détente isenthalpique. Ce coefficient est défini comme.

$$\mu_{JT} = \left( \frac{\partial T}{\partial P} \right)_{H=cste}$$

Prenons l'expérience de J/T et supposons que pour des conditions à l'amont de l'orifice ( $P_1, T_1$ ) on fait varier  $P_2$  à l'aval.

On va à chaque fois noter une température  $T_2$  qui va varier avec  $P_2$

On peut représenter les différents états du fluide après détente sur un diagramme (T, P) voir figure 1.2.

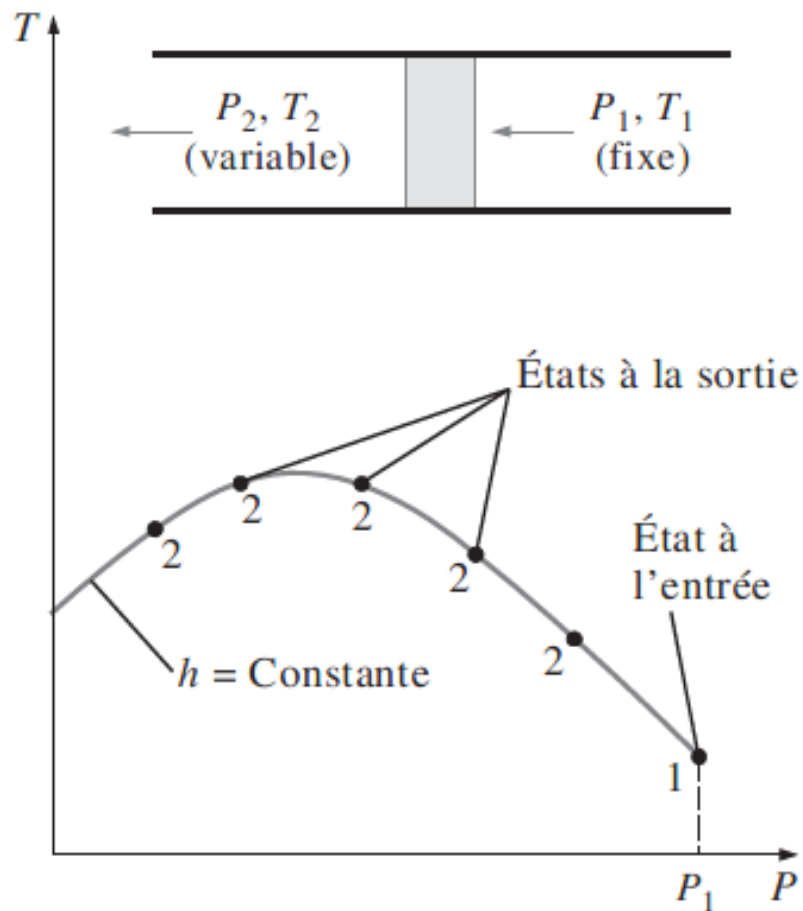


Figure 1.2

Les points ainsi représentent les états du gaz pour lesquels l'enthalpie est celle de l'état initial  $P_1, T_1$ . Tous ces points se trouvent sur une courbe isenthalpique qui représente un maximum.

A gauche de ce maximum, on a diminution de T pour une diminution de p, donc un refroidissement  $\mu_{JT} > 0$ .

A droite de ce maximum on augmentation de T pour une diminution de P, donc réchauffement  $\mu_{JT} < 0$ .

Le maximum de la courbe est appelé **point d'inversion** car c'est là que le phénomène s'inverse.

Si les expériences sont reprises dans d'autres conditions à l'entrée du tube, alors plus d'une courbe isenthalpique est tracée voir figure 1.3.

On observe que certaines des courbes isenthalpiques passent par un maximum, c'est-à-dire un point où la pente est nulle [ $\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_{H=cste} = 0$ ]. La courbe en pointillé qui relie ces points maximaux est appelée la **courbe d'inversion** et la température en ces points, la **température d'inversion**. La température au point où la courbe d'inversion intercepte l'ordonnée ( $P = 0$ ) est appelée la **température d'inversion maximale**. On remarque que le coefficient de Joule-Thompson (la pente d'une courbe isenthalpique) est négatif à droite de la courbe d'inversion ( $\mu_{JT} < 0$ ) et positif à gauche ( $\mu_{JT} > 0$ ).

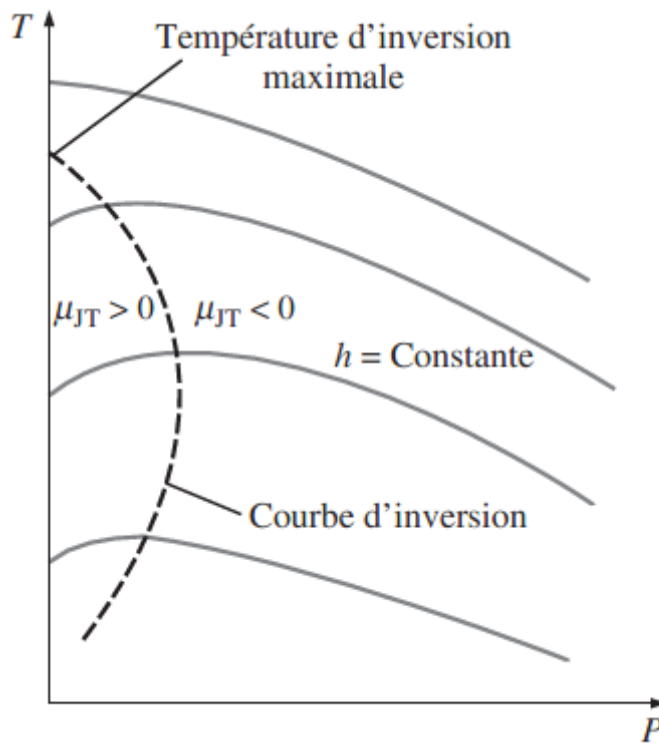


Figure 1.3

### 1.2.2. Détente avec production de travail

La deuxième méthode pour produire les basses températures est la détente adiabatique du gaz à travers une machine d'expansion (turbine d'expansion ou turbo-expander), pour ce cas idéal la détente est réversible et adiabatique (isentropique), on définit alors un coefficient de détente isentropique.

$$\mu_s = \left( \frac{\partial T}{\partial P} \right)_{s=cst}$$

La détente isentropique, pour une même température de départ et entre deux pressions données, provoque un abaissement de température plus important que la détente isenthalpique.

Elle est donc plus intéressante, mais son emploi est toujours combiné avec celle-ci car il n'est pas possible, pour des raisons technologiques, d'admettre la présence de liquide dans les machines de détente.