

LIQUEFACTION DE L'HYDROGENE SOUS FORME CRYOGENIQUE

1 - Introduction

Les gaz que nous connaissons à la température ambiante sous la pression atmosphérique se liquéfient tous si l'on abaisse suffisamment leur température en maintenant leur pression constante. Les températures de cette « condensation » sont en fait très différentes suivant la nature du gaz : ainsi l'hydrogène, maintenu à la pression atmosphérique, devient liquide à 20,3 K soit $- 252,85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Il est alors près de 800 fois plus dense que le gaz, d'où, à priori, l'intérêt évident que présente cette forme liquide pour le stocker et le transporter, mais un certain niveau de technologie cryogénique est à mettre en œuvre que ce soit pour le liquéfier ou pour le conserver à l'état liquide. L'hydrogène est utilisé sous cette forme depuis longtemps par les industriels, et en particulier par ceux qui le distribuent aux divers utilisateurs.

2 – Liquéfaction de l'hydrogène

La liquéfaction de l'hydrogène à 20,3 K ne s'obtient pas uniquement par un apport de froid au gaz mais par un effet combiné de ce refroidissement et de la propre détente adiabatique du gaz après qu'il ait été préalablement comprimé. La première liquéfaction de l'hydrogène fut obtenue par l'anglais Sir James Dewar en 1898. Le procédé fut amélioré quelques années plus tard par le procédé du français Georges Claude – le fondateur de la société Air Liquide – qui perfectionne la machine de réfrigération par compression conçue par l'allemand Linde. De nos jours, trois procédés peuvent être appliqués à la liquéfaction de l'hydrogène :

► Le cycle de Claude. Il consiste d'abord en un pré-refroidissement de l'hydrogène gazeux par un échangeur de chaleur à azote liquide. L'hydrogène subit ensuite une succession de compressions-détentes diminuant chaque fois sa température. Une partie de cet hydrogène froid est utilisé pour aider à l'abaissement de la température du système : en d'autres termes l'hydrogène est en partie son propre réfrigérant. La dernière étape, conduisant au liquide, est une détente de Joule-Thomson¹.

► Le cycle de Brayton. Il utilise un réfrigérant séparé, l'hélium, le seul gaz à se liquéfier à une température plus basse que celle de l'hydrogène. Mais de par son faible poids moléculaire, l'hélium est mal adapté à la compression : aussi est-il souvent mélangé à du néon pour mieux remplir son rôle de réfrigérant lors des cycles de compression - détente (ce dernier gaz n'est pas utilisé seul car sa température de liquéfaction est de 27 K).

1 La détente de Joule-Thomson est une détente du gaz à faible vitesse qui n'échange ni travail ni chaleur avec le milieu extérieur : détente isenthalpique. Elle s'accompagne d'un refroidissement du gaz si la température initiale est inférieure à la température dite d'inversion (au dessus elle produit un réchauffement, c'est le cas de l'hélium et de l'hydrogène à la température ambiante).