

Systèmes de liquéfaction :

Cycles cryogéniques

On parle de cryogénie pour désigner les procédés de réfrigération à très basse température (typiquement inférieure à 125 K), et les distinguer des cycles de réfrigération ordinaires. Bon nombre de ces procédés concernent la liquéfaction des gaz dits permanents, comme l'air, le gaz naturel, l'hydrogène ou l'hélium.

La cryogénie est donc le domaine de l'ingénierie qui s'intéresse aux systèmes fonctionnant à très basse température, ce qui pose des problèmes particuliers, notamment en termes de fluides et de matériaux.

Les cycles de réfrigération et de liquéfaction cryogéniques mettent en jeu des combinaisons de compressions paroisothermes, de refroidissements, de régénérations thermiques et de détente isenthalpique ou adiabatique des fluides.

On peut distinguer 03 grandes familles de procédés thermodynamiques cryogéniques :

- les procédés à détente isenthalpique de Joule-Thomson
- les procédés mixtes associant une détente isenthalpique et une détente isentropique (cycle de Claude)
- les cascades classiques ou intégrées.

Exemple de liquéfaction de l'hydrogène :

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 $-252,85$ °C. Il est alors près de 800 fois plus dense que le gaz, d'où, a 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.

CYCLES DE LIQUEFACTION :

1. PROCÉDES A DETENTE ISENTHALPIQUE DE JOULE-THOMSON

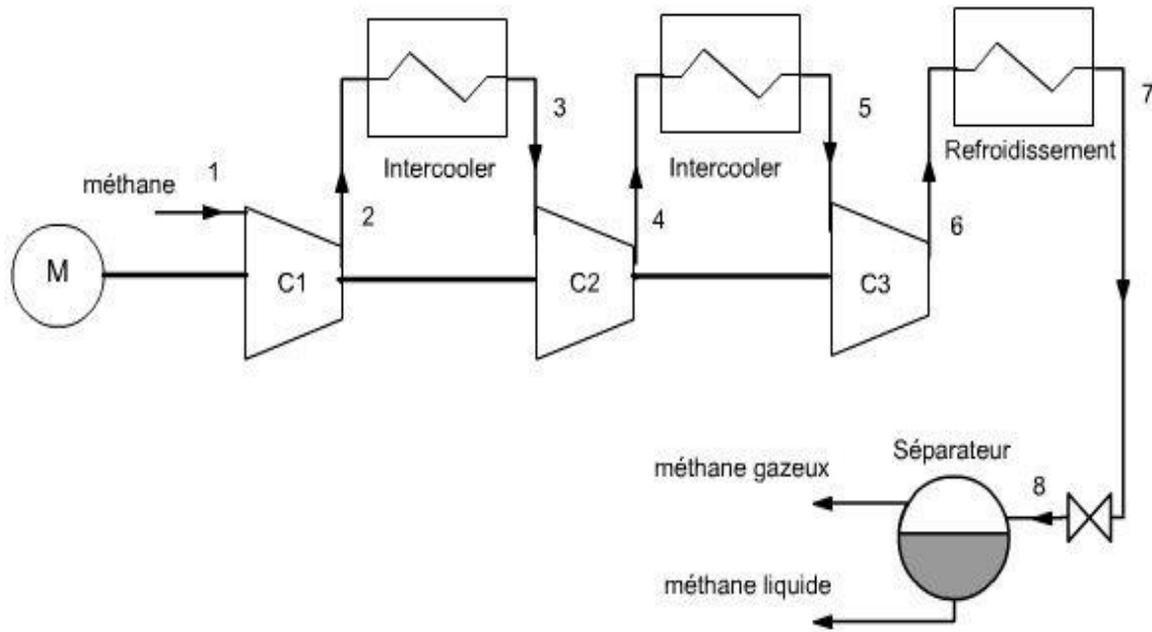
Nous illustrerons ce procédé par des exemples destinés à liquéfier du gaz naturel et former du Gaz Naturel Liquéfié (GNL), considéré ici comme du méthane pur.

Cycle de base de liquéfaction du méthane

Pour liquéfier du gaz naturel, on comprime à 100 bars du méthane pris à 1 bar et 280 K (7°C), puis on le refroidit jusqu'à 210K (on suppose dans cet exemple que l'on dispose d'un cycle de réfrigération permettant de le faire).

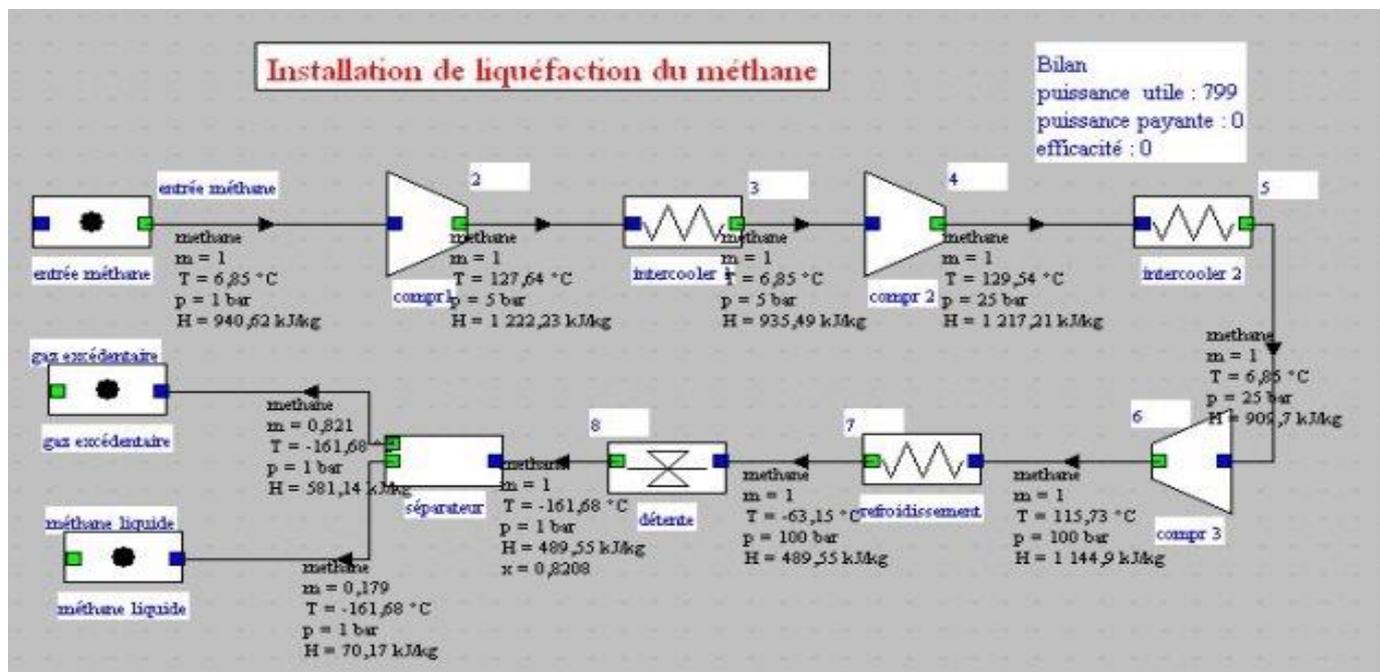
La compression est supposée isentropique, mais le rapport de compression très élevé nécessite le recours à plusieurs compresseurs (3 dans cet exemple) avec refroidissement intermédiaire à 280 K. Les pressions intermédiaires sont égales à 5 et 25 bars.

Le gaz refroidi à 210 K est détendu isenthalpiquement de 100 bars à 1 bar, et ses phases liquide et gazeuse séparées. Comme le montre le schéma de l'installation de la figure ci-dessous, le méthane entre dans la partie supérieure, et les fractions liquide et gazeuse sortent en bas.



Cycle de liquéfaction simple :

Avec le paramétrage retenu, le synoptique de l'installation est donné ci-dessous.



Le travail de compression nécessaire par kilogramme de méthane aspiré est de 798,5 kJ, et 0,179 kg de méthane liquide sont produits, ce qui correspond à un travail de 4,46 Millions de Joules par kilogramme de méthane liquéfié.