

II Liquéfaction du gaz naturel : production de GNL

Le 8 juillet 2016 le terminal méthanier de Dunkerque fut réellement mis en service avec l'arrivée du premier méthanier le *Madrid Spirit*, battant pavillon espagnol, en provenance du Nigéria, qui a déchargé 130 000 m³ de gaz naturel liquéfié (GNL). Ce terminal recevra ensuite le GNL de Norvège, premier importateur de gaz naturel en France.

Pour répondre à certaines questions de cette partie II, il sera nécessaire d'exploiter le diagramme de l'annexe 4.

II.A – Généralités

II.A.1) En exploitant le diagramme de l'annexe 4, montrer que pour condenser totalement du gaz naturel assimilé à du méthane gazeux pur à la pression de 1 bar, il faut se placer à une température d'environ -162 °C .

II.A.2) Quel est alors le volume massique du GNL ?

II.A.3) Expliquer en quoi le transport du gaz naturel sous forme GNL constitue une bonne alternative au transport par gazoducs ?

II.B – Cycle de Linde de liquéfaction du méthane

On désire étudier le procédé de Linde de liquéfaction du méthane, utilisé par exemple dans l'usine de Snøhvit en Norvège, schématisé figure 1 avec les différents états du fluide numérotés de 0 à 10, permettant d'obtenir un débit massique D_{m10} de méthane liquide saturant à la pression $P_{10} = 1\text{ bar}$ à une température $T_{10} = -161,7\text{ °C}$ (état 10).

On désire étudier le procédé de Linde de liquéfaction du méthane, utilisé par exemple dans l'usine de Snøhvit en Norvège, schématisé figure 1 avec les différents états du fluide numérotés de 0 à 10, permettant d'obtenir un débit massique D_{m10} de méthane liquide saturant à la pression $P_{10} = 1\text{ bar}$ à une température $T_{10} = -161,7\text{ °C}$ (état 10).

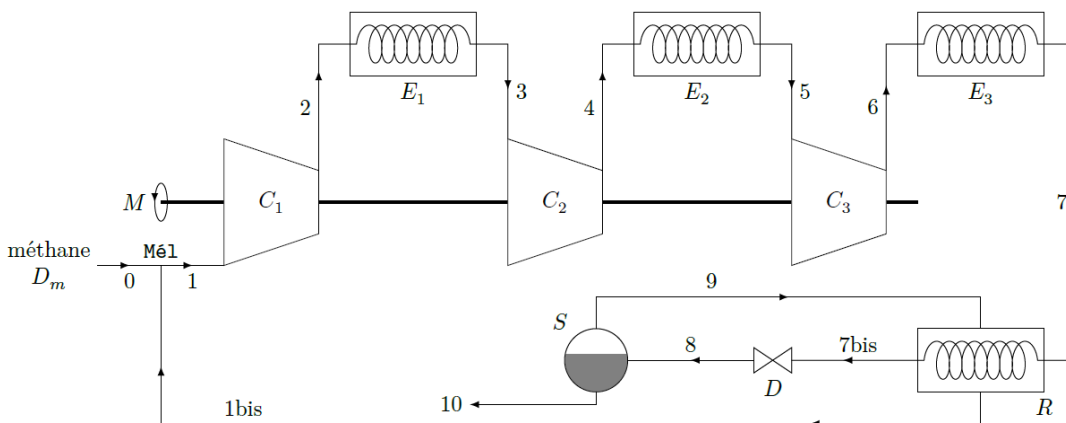


Figure 1 Installation de Linde de liquéfaction du méthane

Pour cela, on introduit un débit massique $D_m = 1,0\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ de méthane gazeux à la température $T_0 = 7,0\text{ °C}$ et à la pression $P_0 = 1,0\text{ bar}$ (état 0). Trois compresseurs C_1 , C_2 et C_3 fonctionnant de façon adiabatique et réversible, solidaires d'un même arbre entraîné sans perte par un moteur M , ainsi que trois échangeurs de chaleurs isobares (systèmes de refroidissement) E_1 , E_2 et E_3 permettent d'obtenir en l'état 7 du gaz à la pression $P_7 = 100\text{ bar}$ et à la température $T_7 = -63\text{ °C}$. Les pressions intermédiaires sont égales à $P_2 = 5,0\text{ bar}$ et $P_4 = 25\text{ bar}$. L'enthalpie massique du fluide dans l'état 3 est $h_3 = 866\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ et dans l'état 5, $h_5 = 840\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Un régénérateur R , échangeur thermique globalement calorifugé et fonctionnant de façon réversible, permet de refroidir le gaz comprimé non plus à -63 °C mais à -82 °C (état 7bis). Ce gaz refroidi est détendu isenthalpiquement de 100 bar à 1 bar par le détendeur D jusqu'à l'état diphasé 8 de titre massique en vapeur $x = 0,61$. Les phases liquide et gazeuse sont séparées dans le séparateur isobare S . La vapeur saturante sèche sortant du séparateur est recyclée dans le régénérateur R . Mé1 est un mélangeur globalement calorifugé, sans partie mobile et fonctionnant de façon isobare. La pression en 1 vaut donc $P_1 = 1\text{ bar}$.

On se place en régime permanent d'écoulement. On négligera toute variation d'énergie mécanique du fluide.

II.B.1) On note respectivement les débits massiques de fluide D_{m1} et D_{m1bis} aux états 1 et 1bis. En utilisant le titre massique en vapeur x dans le séparateur, établir une relation entre D_{m1} , D_{m1bis} et x . Après avoir traduit la conservation du débit massique au niveau du mélangeur, déterminer les valeurs des débits massiques D_{m1} et D_{m1bis} .

II.B.2) Déterminer graphiquement les enthalpies massiques aux états 7 ($P_7 = 100\text{ bar}$ et $T_7 = -63\text{ °C}$), 7bis ($P_{7bis} = P_7$, $T_{7bis} = -82\text{ °C}$) et 9 respectivement notées h_7 , h_{7bis} et h_9 . En effectuant un bilan énergétique au niveau du régénérateur R globalement calorifugé et ne comportant pas de partie mobile, déterminer l'enthalpie massique h_{1bis} .

II.B.3) On admet qu'au niveau du mélangeur Mé1, il y a conservation du débit d'enthalpie ce qui se traduit par la relation $D_m h_0 + D_{m1bis} h_{1bis} = D_{m1} h_1$ où h_0 , h_1 et h_{1bis} désignent alors respectivement l'enthalpie massique du fluide dans l'état 0, 1 et 1bis. Calculer h_1 .

II.B.4) La transformation au niveau du compresseur C_1 étant supposée isentropique, déterminer graphiquement la valeur de l'enthalpie massique h_2 à l'état 2. En déduire la puissance P_{u1} fournie par le moteur au compresseur C_1 . On commencera par positionner le point 1 sur le diagramme.

II.B.5) La puissance totale délivrée par le moteur est égale à 1,8 MW, quel type de machine motrice peut délivrer une telle puissance ?

Annexe 4 : Diagramme pression – enthalpie massique du corps pur méthane

