# CORRIGE GAZ NATUREL LIQUEFIE (centrale 2017)

## II.A – Généralités

**II.A.1** On trouve sur le diagramme l'intersection entre la courbe de saturation et l'horizontale $P = 1\,\text{bar}$.

On voit alors que ce point d'intersection est légèrement à gauche de l'isotherme $T = -160$°C, ce qui doit correspondre environ à $T = -162$°C.

**II.A.2** On lit $\boxed{v \simeq 0.005\,\text{m}^3/\text{kg}.}$ Ceci correspond à $\rho = 1/v = 200\,\text{kg/m}^3$.

**II.A.3** Sous forme liquide le gaz naturel est plutôt dense, et donc un volume donné représentera de grandes quantités de gaz ramené à température ambiante.

L'infrastructure des gazoducs en mer est également évitée puisque le transport se fait par bateau.

Le transport peut également se faire par camion dans des bouteilles de gaz jusqu'aux domiciles des utilisateurs.

## II.B – Cycle de Linde de liquéfaction du méthane

**II.B.1** Le régime est stationnaire, donc le débit massique se conserve le long d'une conduite.

Ceci signifie que tant qu'il n'y a pas d'embranchement, $D_m$ est constant.

Ainsi on a ici :

- $D_{m1} = D_{m2} = ... = D_{m8}$.
- Au niveau du séparateur S : $D_{m8} = D_{m9} + D_{m10}$ avec $D_{m9} = xD_{m8}$ et $D_{m10} = (1-x)D_{m8}$.
- $D_{m1\text{bis}} = D_{m9} = xD_{m8} = xD_{m1}$ : on retient donc que $\boxed{D_{m1\text{bis}} = xD_{m1}.}$
- Au niveau du mélangeur : $\boxed{D_{m1} = D_{m1\text{bis}} + D_m.}$

Des deux équations encadrées, on en déduit que : $\boxed{D_{m1} = \dfrac{1}{1-x}D_m = 2.6\,\text{kg/s}}$

et $\boxed{D_{m1\text{bis}} = \dfrac{x}{1-x}D_m = 1.6\,\text{kg/s}.}$

**II.B.2** ⋆ On place les points 7 et 7bis sur le diagramme $p$-$h$ car on connaît $T$ et $P$ pour chacun. On se place donc à l'intersection de l'horizontale $P = 100\,\text{bar}$ et de l'isotherme correspondante. On lit ensuite $h$ en bas. On trouve $\boxed{h_7 = 4.2\times10^2\,\text{kJ/kg},}$ $\boxed{h_{7\text{bis}} = 3.1\times10^2\,\text{kJ/kg}.}$

On place le point 9 sachant qu'il est sur la courbe de saturation coté gaz (vapeur sèche en sortie du séparateur) et que sa pression est $P_9 = 1$ bar car le séparateur est isobare. On lit alors $\boxed{h_9 = 5.1\times10^2\,\text{kJ/kg}.}$

⋆ On peut s'inspirer de l'expression donnée dans la question qui suit, et en déduire que le bilan d'énergie dans le régénérateur va s'écrire $D_{m1\text{bis}}h_9 + D_{m1}h_7 = D_{m1\text{bis}}h_{1\text{bis}} + D_{m1}h_{7\text{bis}}$.

On isole alors $h_{1\text{bis}} = \dfrac{D_{m1}}{D_{m1\text{bis}}}(h_7 - h_{7\text{bis}}) + h_9$, soit $\boxed{h_{1\text{bis}} = \dfrac{1}{x}(h_7 - h_{7\text{bis}}) + h_9 = 6.9 \times 10^2\,\text{kJ/kg}.}$

**Remarque :** On peut démontrer l'expression $D_{m1\text{bis}}h_9 + D_{m1}h_7 = D_{m1\text{bis}}h_{1\text{bis}} + D_{m1}h_{7\text{bis}}$ en écrivant :

- Le premier principe pour le système ouvert {fluide en écoulement entre 9 et 1bis dans le régénérateur} : $h_{1\text{bis}} - h_9 = w_i + q = q$ (pas de parties mobiles, et on néglige $\Delta e_c$ et $\Delta e_p$).
  Soit encore $D_{m1\text{bis}}(h_{1\text{bis}} - h_9) = D_{m1\text{bis}}q$.
- Le premier principe pour le système ouvert {fluide en écoulement entre 7 et 7bis dans le régénérateur} : $h_{7\text{bis}} - h_7 = w_i' + q' = q'$.
  Soit encore $D_{m1}(h_{7\text{bis}} - h_7) = D_{m1}q'$.
- L'échangeur étant calorifugé, les transferts thermiques $q$ et $q'$ se font uniquement entre les deux écoulements. On a donc l'égalité $D_{m1\text{bis}}q =$ (puissance transmise du fluide 1 au fluide 2) = -(puissance transmise du fluide 2 au fluide 1) $= -D_{m1}q'$ (ce sont les puissance, en J/s, qui sont égales, et non pas les transferts thermiques massiques $q$ et $-q'$).
- On somme les deux premiers principes précédents pour obtenir :
  $D_{m1\text{bis}}(h_{1\text{bis}} - h_9) + D_{m1}(h_{7\text{bis}} - h_7) = 0$.

**II.B.3** On a $h_1 = \dfrac{D_m}{D_{m1}}h_0 + \dfrac{D_{m1\text{bis}}}{D_{m1}}h_{1\text{bis}} = (1-x)h_0 + xh_{1\text{bis}}$.

On lit $h_0$ sur le diagramme $p$-$h$ en plaçant le point 0 à $P_0 = 1.0\,\text{bar}$ et $T_0 = 7°\text{C}$. On trouve $\boxed{h_0 = 8.7 \times 10^2\,\text{kJ/kg}.}$

On en déduit $\boxed{h_1 = 7.6 \times 10^2\,\text{kJ/kg}.}$

**II.B.4** ⋆ On place le point 1 sur le graphique : il est à $P_1 = 1.0\,\text{bar}$ et à $h_1 = 7.6 \times 10^2\,\text{kJ/kg}$.

On trace ensuite une courbe iso-$s$ qui part de ce point et qui monte jusqu'à croiser la pression $P_2 = 5.0\,\text{bar}$. Ceci donne le point 2.

On lit alors l'enthalpie du point 2 : $\boxed{h_2 = 10.0 \times 10^2\,\text{kJ/kg}.}$

⋆ On applique ensuite le premier principe au système ouvert {fluide en écoulement dans le compresseur} (possible car régime stationnaire), en négligeant $\Delta e_p$, $\Delta e_c$, et en sachant que $q = 0$ car le compresseur est calorifugé : $h_2 - h_1 = w_i$.

En multipliant par $D_{m1}$ on obtient : $P_{u1} = D_{m1}w_i = D_{m1}(h_2 - h_1)$, d'où $\boxed{P_{u1} = 0.62\,\text{MW}.}$

**II.B.5** On peut utiliser un moteur électrique (par exemple ceux équipant les trains atteignent facilement le MW), ou un moteur à explosion (là encore dans les locomotives les puissances sont de cet ordre de grandeur).

On peut également utiliser une machine thermique ditherme du type turbine à gaz ou à vapeur (qui suit typiquement un cycle de Rankine avec un compresseur, une source de chaleur, une turbine, un condenseur si cycle à vapeur). Selon la source de chaleur utilisée (combustion d'un carburant, nucléaire...) et le dimensionnement, la puissance fournie sur l'arbre peut aller de quelques 0.1 MW à plusieurs centaines de MW.