

1 Liquéfaction du dioxyde de carbone (centrale physique 2)

On s'intéresse à un procédé de liquéfaction du dioxyde de carbone gazeux en dioxyde de carbone liquide. L'installation de liquéfaction est présentée sur la figure 11. Elle est constituée

- de trois échangeurs thermiques E_1 , E_2 et E_3 dans lesquels le CO_2 circule de manière isobare,
- de deux compresseurs C_1 et C_2 réalisant des compressions supposées adiabatiques et réversibles,
- d'une vanne de détente V calorifugée,
- d'un séparateur S qui sépare les phases liquide et vapeur du CO_2 en sortie de la vanne.

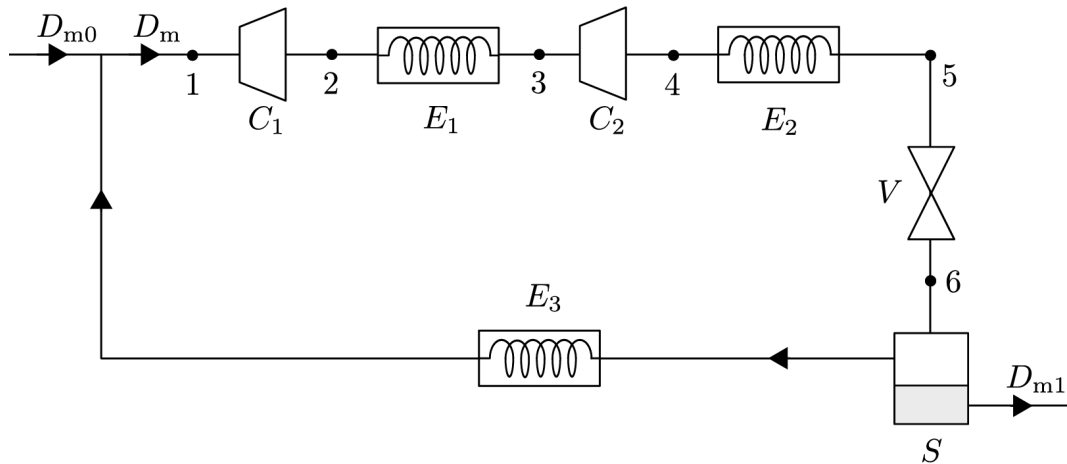


Figure 11 – Schéma de l'installation de liquéfaction

Les différents états du CO_2 sont repérés par des chiffres allant de 1 à 6. Le CO_2 est introduit avec un débit massique D_{m0} et circule avec un débit massique $D_m = 0,1 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ dans les éléments C_1 , E_1 , C_2 , E_2 et V . Le diagramme thermodynamique du CO_2 donnant la pression P en bar en fonction de l'enthalpie massique h en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ figure dans le document-réponse en fin d'énoncé. Sur ce diagramme, les courbes isentropes (en $\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) sont représentées par des lignes $- \cdot - \cdot -$ et les courbes isothermes (en $^\circ\text{C}$) sont représentées par des lignes $- - -$. Les valeurs notées x sont les titres massiques en vapeur.

Les variations d'énergie potentielle de pesanteur massique et d'énergie cinétique massique du CO_2 sont supposées négligeables. L'installation fonctionne en régime stationnaire.

1. Montrer que le passage du CO_2 dans la vanne est isenthalpe.
2. Montrer que le passage du CO_2 dans chaque compresseur est isentrope.

Le CO_2 est introduit dans l'installation à l'état 1 à une pression de 6 bar et à une température de 0°C par un dispositif situé en amont dont on ne tiendra pas compte dans l'étude. Le compresseur C_1 amène le fluide à une pression de 20 bar dans l'état 2 et l'échangeur E_1 ramène sa température à 0°C dans l'état 3. Le compresseur C_2 poursuit la compression en amenant le fluide à 80 bar dans l'état 4. En sortie 5 de l'échangeur E_2 , le fluide est à une température de 35°C . La vanne de détente ramène le fluide à sa pression d'entrée de 6 bar dans l'état 6.

3. Placer sur le document-réponse les points allant de 1 à 6 et dessiner la courbe qui les relie.

Tous les résultats numériques de calculs de puissance demandés dans la suite seront écrits avec deux chiffres significatifs.

4. Calculer la puissance mécanique totale nécessaire pour alimenter les deux compresseurs C_1 et C_2 .
5. Quel est l'intérêt d'utiliser deux compresseurs au lieu d'un seul pour amener le CO_2 de 6 bar à 80 bar ?

Dans les échangeurs E_1 et E_2 , le CO_2 est refroidi grâce à une machine frigorifique d'efficacité $e_F = 2,0$.

6. Calculer la puissance mécanique totale nécessaire pour alimenter la machine frigorifique.
7. Calculer le débit massique D_{m1} de CO_2 liquide obtenu en sortie du séparateur S .
8. Calculer le débit D_{m0} du CO_2 à introduire dans l'installation.

2 Moteur à essence (CCINP)

On s'intéresse au fonctionnement d'une voiture Clio de la marque Renault dont les caractéristiques sont données dans le **document 1**.

Document 1 - Caractéristiques techniques d'une Renault Clio

Moteur	
Carburant	Essence
Cylindrée (cm ³)	898
Rapport de compression	9,5 :1
Puissance maximale (ch)	90
Couple maximal (N · m)	140
Performances	
Vitesse maximale (km · h ⁻¹)	178
0 - 100 km · h ⁻¹ (s)	12,1
Carburant	
Consommation à 100 km · h ⁻¹ (L/100 km)	10
Volume du réservoir (L)	45

Tableau 1 - Caractéristiques de la voiture

Source : www.renaultgroup.com

On définit le rapport volumétrique comme le rapport $\delta = \frac{V_h}{V_b}$ et la cylindrée comme le volume total admis par l'ensemble des cylindres du moteur lors de la phase d'admission.

Le moteur à essence de cette voiture utilise un mélange air-essence modélisé par un cycle thermodynamique de Beau de Rochas.

Ce cycle est constitué des phases successives suivantes :

- 0 → 1 : admission isobare et isotherme du mélange dans la chambre de combustion jusqu'au point mort haut de volume V_h . La quantité de matière de mélange admise sera notée n_e ;
- 1 → 2 : compression adiabatique réversible du mélange vers le point mort bas de volume V_b où le mélange est porté à une température de 614 K ;
- 2 → 3 : combustion isochore du mélange qui atteint une température de 1800 K ;
- 3 → 4 : détente adiabatique réversible du mélange jusqu'au point mort haut où le mélange descend à une température de 879 K ;
- 4 → 1 : ouverture de la soupape modélisée par un refroidissement isochore jusqu'à la température ambiante de 300 K ;
- 1 → 0 : éjection isobare et isotherme du mélange jusqu'au point mort bas.

Pour simplifier l'étude, on assimile le mélange air-essence à un système fermé constitué d'une quantité de matière n_e d'un gaz parfait diatomique de coefficient isentropique γ , hors étapes d'admission et d'éjection. On notera {GP} ce système.

On note respectivement W , Q_c et Q_f , le travail reçu par le système de la part du rotor du moteur, le transfert thermique reçu par le système de la part de la source chaude et le transfert thermique reçu par le système de la part de la source froide sur un cycle. On note également d'un indice i , toute variable d'état associée à l'état i .

1. Identifier les sources chaude et froide, et donner leurs températures.
2. Donner, en justifiant, les signes de Q_f , Q_c et de W .
3. Représenter le cycle dans le diagramme de Watt (P, V). Commenter le sens de parcours du cycle représenté.
4. Rappeler la relation de Mayer reliant les capacités thermiques à volume constant C_v et à pression constante C_p de {GP}.
5. En déduire les expressions de ces capacités thermiques en fonction de n_e , γ et de R , la constante des gaz parfaits.

6. Exprimer Q_{23} , le transfert thermique reçu par {GP} lors de la phase $2 \rightarrow 3$, en fonction notamment des températures T_2 et T_3 .
7. Exprimer Q_{41} , le transfert thermique reçu par {GP} lors de la phase $4 \rightarrow 1$, en fonction notamment des températures T_1 et T_4 .
8. En déduire une expression du rendement du moteur η en fonction des températures T_1 , T_2 , T_3 et T_4 .
9. Exprimer la température T_4 en fonction de T_3 , V_b , V_h et de γ .
10. Exprimer la température T_1 en fonction de T_2 , V_b , V_h et de γ .
11. En déduire l'expression de η en fonction de δ et de γ .
L'application numérique donne $\eta = 0,59$. On utilisera cette valeur pour la suite.
12. Établir l'expression du rendement de Carnot η_c associé à ce cycle. Faire l'application numérique et commenter.