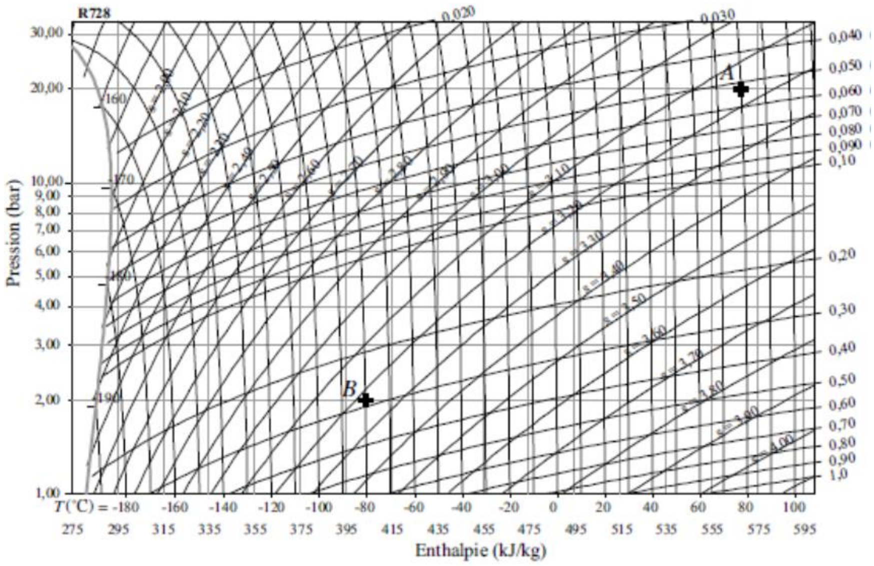
Exercice 1

On peut voir sur la figure une partie du diagramme (ln$P$,h) du fluide R728, dans le domaine où ce fluide est gazeux. Les températures sont en °C, les volumes massiques en $m^3 \cdot kg^{-1}$, les entropies massiques en $kJK^{-1}kg^{-1}$.



1. Le gaz se comporte-t-il comme un gaz parfait ? Dans quelle partie du diagramme s'en rapproche-t-il le plus ?

2. Évaluer la capacité thermique massique à pression constante du fluide pour P = 1 bar en la supposant constante sur tout le domaine de température représenté. Sachant qu'il s'agit d'un gaz diatomique, déterminer sa masse molaire et en déduire la nature du fluide R728.

Exercice 2

Le fluide de l'exercice précédent passe de l'état correspondant au point A à l'état correspondant au point B (voir figure de l'exercice précédent) en s'écoulant à travers une machine.

1. Quelles sont, parmi les grandeurs suivantes, celles que l'on peut calculer à partir de valeurs lues sur le diagramme (les notations non explicitées sont celles du cours) : Δh, Δu (différence des énergies internes massiques), q, w_u, w_{pression} (travail massique des forces de pression), Δs, $s_{\text{éch}}$, $s_{\text{créée}}$.

2. Cette transformation se fait dans une tuyère horizontale, adiabatique et ne comportant aucune pièce mobile. Évaluer :

• la vitesse du gaz à la sortie de la tuyère sachant que la vitesse à l'entrée est quasiment nulle,

• l'entropie créée par unité de masse de gaz dans la tuyère.

Exercice 3

Un compresseur parfaitement isolé thermiquement fait passer un fluide en écoulement stationnaire de la pression P_1 à la pression $P_2 > P_1$.

1. Quel est le signe de la variation d'enthalpie massique Δh à la traversée du compresseur ?

2. Quel est le signe de la variation d'entropie massique Δs à la traversée du compresseur ?

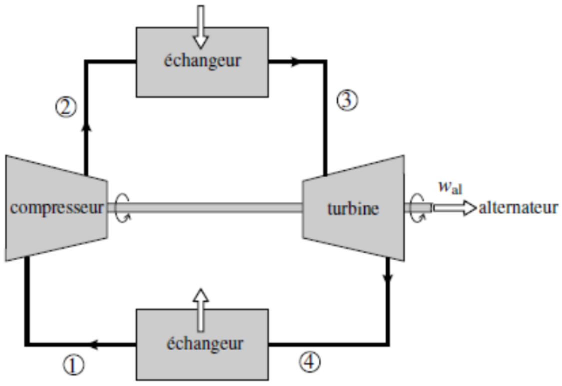
3. Sur un diagramme (ln$P$,h) placer un point 1 correspondant au fluide entrant dans le compresseur. Tracer qualitativement les isobares $P = P_1$ et $P = P_2$, ainsi que l'isentrope $s = s_1$ (s_1 entropie massique à l'entrée). Où peut être situé le point 2 ?

4. Sur le schéma précédent, comment apparaît le travail massique reçu par le fluide ? Pour quelle position du point 2 ce travail massique est-il minimal ? À quelle condition en est-il ainsi ?

Exercice 4 Turbine à gaz

Les centrales nucléaires de la génération 6 prévues vers les années 2030 devront être sûres et présenter un rendement important. Une option étudiée parmi 6 grands choix est le réacteur à très haute température refroidi à l'hélium. Ce type de réacteur offrirait l'avantage d'améliorer l'efficacité de la conversion énergétique, compte tenu de la température élevée de la source chaude et de permettre en sus la production d'hydrogène.

Dans ces installations de forte puissance, on utilise le cycle de Brayton (ou cycle de Joule) pour extraire le travail et, en fin de compte, produire de l'électricité.
Le gaz utilisé dans la centrale est l'hélium, qui sera assimilé à un gaz parfait de caractéristiques Suivantes $c_p = \frac{5R}{2M_{He}}$ avec $R = 8{,}314$ J $\cdot$K^{-1} $\cdot$mol^{-1}, $M_{\text{He}} = 4{,}00.10^{-3}$ kg$\cdot$mol^{-1} et $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{5}{3}$



Le gaz circule dans une installation (voir figure) en régime stationnaire. Il échange du travail avec l'extérieur dans le compresseur et la turbine. Le travail fourni par le passage du gaz dans la turbine sert d'une part à faire fonctionner le compresseur (turbine et compresseur montés sur le même axe) et d'autre part à fabriquer de l'électricité. Les transferts thermiques ont lieu dans des échangeurs. Le fluide, ici un gaz d'hélium, décrit le cycle de Brayton. Ce cycle est constitué de deux isobares et de deux isentropiques :

• compression adiabatique réversible du point 1 avec une température $T_1 = 300$ K et une pression $P_1 = 20.10^5$ Pa vers le point 2 à la pression $P_2 = 80.10^5$ Pa,
• chauffage isobare du point 2 vers le point 3 à la température $T_3 = 1300$ K,
• détente adiabatique réversible de 3 vers 4 (de $P_3 = P_2$ à $P_4 = P_1$),
• refroidissement isobare de 4 vers 1.

Dans toutes les transformations les variations d'énergie cinétique et d'énergie potentielle du fluide sont négligeables. On pose $r_p = \frac{P_2}{P_1}$

1. Cycle de Brayton

a. Pour une transformation isentropique, justifier que la relation entre T et P peut se mettre sous la forme : $T \; \frac{t}{P^{\beta}} = cste$ où β est un nombre que l'on précisera.

b. Déterminer les températures T_2 et T_4. Effectuer l'application numérique.

c. Exprimer et calculer les travaux utiles massiques $w_{u,12}$ et $w_{u,34}$ échangés avec l'extérieur (travaux utiles reçus par le gaz) lors des transformations isentropiques 1→2 et 3→4.

d. Exprimer et calculer les transferts thermiques massiques reçus par le gaz q_{23} et q_{41}.

e. Montrer que l'efficacité est : $e = 1 - \frac{1}{r_P^{\beta}}$

f. Calculer numériquement cette efficacité et comparer à l'efficacité de Carnot obtenue en utilisant les deux températures extrêmes du cycle.

g. Exprimer le travail massique w_{al} cédé par la turbine à l'alternateur en fonction des températures extrêmes T_3 et T_1, de c_p, de β et du rapport des pressions r_p.

h. Montrer que w_{al} passe par une valeur maximale en fonction du rapport des pressions pour : $r_p = r_{pm} = \left(\frac{T_3}{T_1}\right)^{\beta}$. Calculer numériquement r_{pm} et l'efficacité pour $r = r_{pm}$.