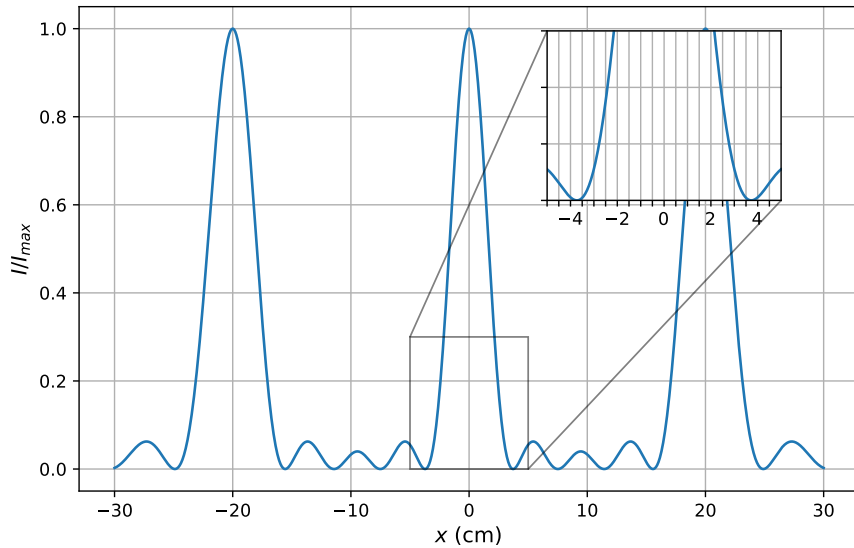


Sujet n°1

Question de cours. TH1. Diffusion

Établir l'équation locale de conservation dans le cas d'un problème ne dépendant que d'une seule coordonnée d'espace en coordonnées cartésiennes, en présence de source interne (σ_N taux de production volumique).

Exercice n°1 Caractéristiques d'un réseau



Le réseau est éclairé en incidence normale et la figure d'interférence est observée dans le plan focal image d'une lentille convergente de 50 cm.

Déterminer le pas du réseau et le nombre de fentes éclairées.

Exercice n°2 Turbine à gaz

De la vapeur d'eau assimilée à un gaz parfait évolue dans une turbine horizontale, de section constante $\Sigma = 1 \text{ m}^2$, munie d'une hélice. À l'extérieur, la température est constante égale à $T_0 = 35^\circ\text{C}$. La vapeur est admise dans la turbine à la température $T_1 = 400^\circ\text{C}$ et pression $P_1 = 6,0 \text{ bar}$, et ressort à la température $T_2 = 100^\circ\text{C}$ sous pression $P_2 = 1,0 \text{ bar}$. Le débit au travers de la turbine vaut $D = 1 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$.

On donne l'expression de l'entropie molaire d'un gaz parfait :

$$S_m(T, P) = \frac{\gamma R}{\gamma - 1} \ln \frac{T}{T_1} - R \ln \frac{P}{P_1} + S_m(T_1, P_1).$$

Données : masse molaire de l'eau $M = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, coefficient isentropique $\gamma = C_{P, m}/C_{V, m} = 1,3$. Débit massique $D = \rho \Sigma v$ (v la vitesse)

1. Rappeler l'expression des deux principes pour un fluide en écoulement stationnaire.
2. On néglige les variations d'énergie cinétique. Que dire des échanges de chaleur entre le gaz et l'extérieur? Montrer que la puissance cédée à la turbine est maximale dans l'hypothèse d'un écoulement adiabatique.
3. Calculer la variation d'entropie entre l'entrée et la sortie. Est-ce en contradiction avec l'hypothèse d'un écoulement adiabatique?
4. Calculer la puissance cédée à la turbine en la supposant réversible.
5. Calculer la vitesse du fluide à l'entrée et à la sortie de la turbine. Peut-on vraiment négliger la variation d'énergie cinétique?

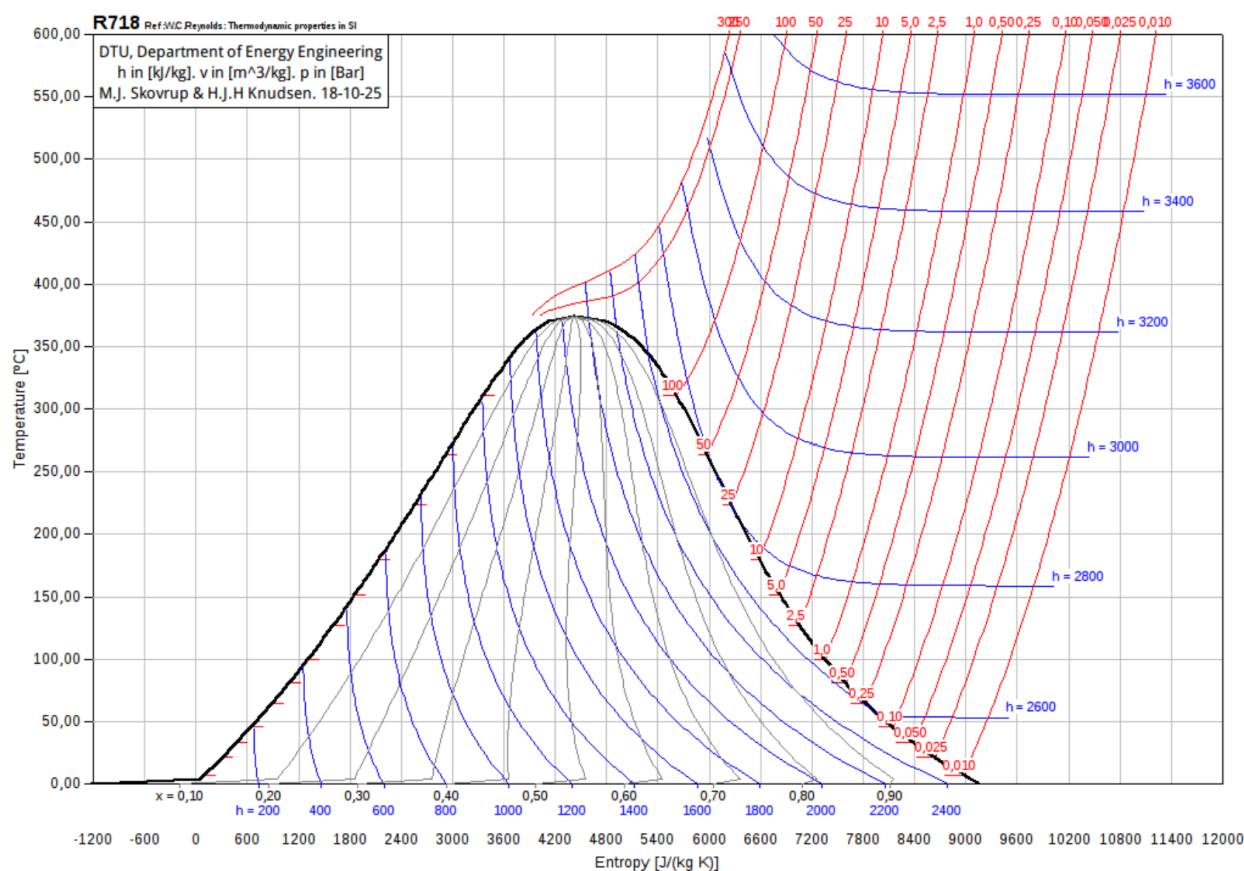
Sujet n°2

Question de cours. TH1. Diffusion

Établir l'équation locale de conservation dans le cas d'un problème ne dépendant que d'une seule coordonnée d'espace en coordonnées cylindriques ($n(r)$), en présence de source interne (σ_N tau de production volumique).

Exercice n°1 Cycle de Hirn

L'eau liquide est chauffée par une chaudière thermique, qui débite de la vapeur d'eau à 550 °C et 100 bar (état 1). Cette vapeur subit une détente adiabatique réversible dans une première turbine dite haute pression, d'où elle sort à la pression de 10 bar (état 2). Un surchauffeur isobare, lui aussi relié à la chaudière, ramène la vapeur à la température initiale (état 3). La vapeur passe ensuite dans la seconde turbine, dite basse pression, d'où sort de l'eau à la température de 40 °C (état 4). Cette eau est envoyée dans un condenseur d'où elle sort à l'état de liquide juste saturant (état 5), puis elle est pompée de manière adiabatique réversible (état 6) et renvoyée en entrée du générateur de vapeur où elle subit un échauffement isobare. Les arbres des deux turbines sont liés entre eux.



1. Tracer le cycle parcouru par l'eau dans le diagramme entropique. Pourquoi le point 6 est-il confondu avec le point 5 ? Commenter son sens de parcours.
2. En déduire la température de l'eau dans l'état 2 et l'état de l'eau dans l'état 4 .
3. Déterminer les enthalpies massiques de l'eau aux six points du cycle. Comment interpréter $h_5 = h_6$?
4. Déterminer le travail massique disponible sur l'arbre des turbines.
5. Si on considère que l'alternateur a un rendement électromécanique de 90 %, déterminer le débit d'eau à imposer pour obtenir une puissance électrique de 400 MW.
6. Quelle est la quantité de transfert thermique massique dépensée au surchauffeur ?
7. Calculer le rendement thermodynamique de l'installation.

Exercice n°2 Réseau

On souhaite déterminer la longueur d'onde λ de la raie du cadmium avec un réseau comptant $n = 500$ traits par millimètre.

1. Établir la formule des réseaux.
2. On se place en incidence normale. On observe l'ordre -2 et l'ordre 2 séparés d'un angle $\alpha = 61^\circ 9'$, où $1' = 1/60^\circ$. Déterminer λ .

Sujet n°3

Question de cours. TH1. Diffusion

Établir l'équation locale de conservation dans le cas d'un problème ne dépendant que d'une seule coordonnée d'espace en coordonnées sphériques ($n(r)$), en présence de source interne (σ_N tau de production volumique).

Exercice n°1 Cycle de Linde

- Au repère 1, le diazote entre dans le compresseur, noté C, dans l'état 1 à la pression $P_1 = 1$ bar et à la température $T_1 = 290$ K.
- Dans le compresseur, le diazote subit une compression isotherme réversible qui l'amène au repère 2 à $P_2 = 200$ bar.
- Le diazote sortant du compresseur passe dans l'échangeur thermique E (repère 3) où il y est refroidi à pression constante.
- Le détendeur D détend le gaz jusqu'à la pression atmosphérique P_1 . Le détendeur est un simple robinet et ne comporte donc pas de parties mobiles. À sa sortie, le diazote est un mélange de gaz et de liquide.
- Le liquide formé est extrait au niveau du séparateur S et la vapeur saturée (repère 6) est renvoyée dans l'échangeur thermique E. Le repère 5 ne fait pas partie du cycle. Le diazote gazeux est ramené à l'état 1 à la sortie de l'échangeur E.
- Le détendeur D, le séparateur S, l'échangeur E et tous les circuits de liaison sont supposés parfaitement calorifugés. Lors du passage dans le séparateur et l'échangeur thermique, les transformations sont considérées comme isobares.

1. Placer les points 1, 2, 5 et 6 sur le diagramme (P, h) .
2. Pour un gaz parfait, comparer les isothermes et les isenthalpes dans un diagramme (P, h) . On déduire à partir du diagramme, dans quel domaine de pression on peut considérer le diazote comme un gaz parfait.
3. Comment se simplifie le deuxième principe pour une transformation isotherme réversible? En déduire l'expression du transfert thermique massique q_{12} . Faire l'application numérique. En déduire le travail massique w_{12} fourni par le compresseur au système.

On s'intéresse à l'étude du détendeur (transformation $3 \rightarrow 4$) et du séparateur (transformation $4 \rightarrow 6$). On rappelle que l'étape 5 ne fait pas partie du cycle.

4. Déterminer la nature de la transformation $3 \rightarrow 4$.
5. On note y la fraction massique en diazote liquide. À partir du point 4, le diazote est séparé en deux : le liquide d'enthalpie massique h_5 est extrait et le gaz d'enthalpie massique h_6 est envoyé dans l'échangeur thermique. Déterminer l'expression de h_4 en fonction de y , de l'enthalpie massique du liquide h_5 et celle du gaz h_6 .

On regarde maintenant l'échangeur thermique E (transformation $2 \rightarrow 3$ et $6 \rightarrow 1$). On peut montrer en utilisant le premier principe que $h_3 - h_2 + (1 - y)(h_1 - h_6) = 0$.

En déduire l'expression de y en fonction des enthalpies massiques h_1, h_2 et h_5 . Faire l'application numérique.

6. Calculer numériquement le travail pour extraire 1 kg d'azote liquide.
7. En utilisant la valeur de y , placer le point 4 sur le diagramme (P, h) . En déduire l'enthalpie massique h_4 et l'entropie massique s_4 .
8. Placer alors le point 3 sur le diagramme (P, h) . En déduire l'enthalpie massique h_3 et l'entropie massique s_3 .
9. Déterminer l'entropie massique créée dans le détendeur. Préciser l'origine de l'irréversibilité si elle existe.
10. Sachant que le prix du kWh (kilowatt-heure) en France en 2017 est de 0,15 euros, déterminer l'énergie nécessaire et le coût pour liquéfier un volume de 10 L de diazote.

$$\rho_{N_2} = 810 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

