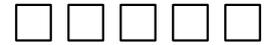


T2-TD

Systèmes ouverts en régime permanent

T2 – 01 Utilisation d'un diagramme entropique



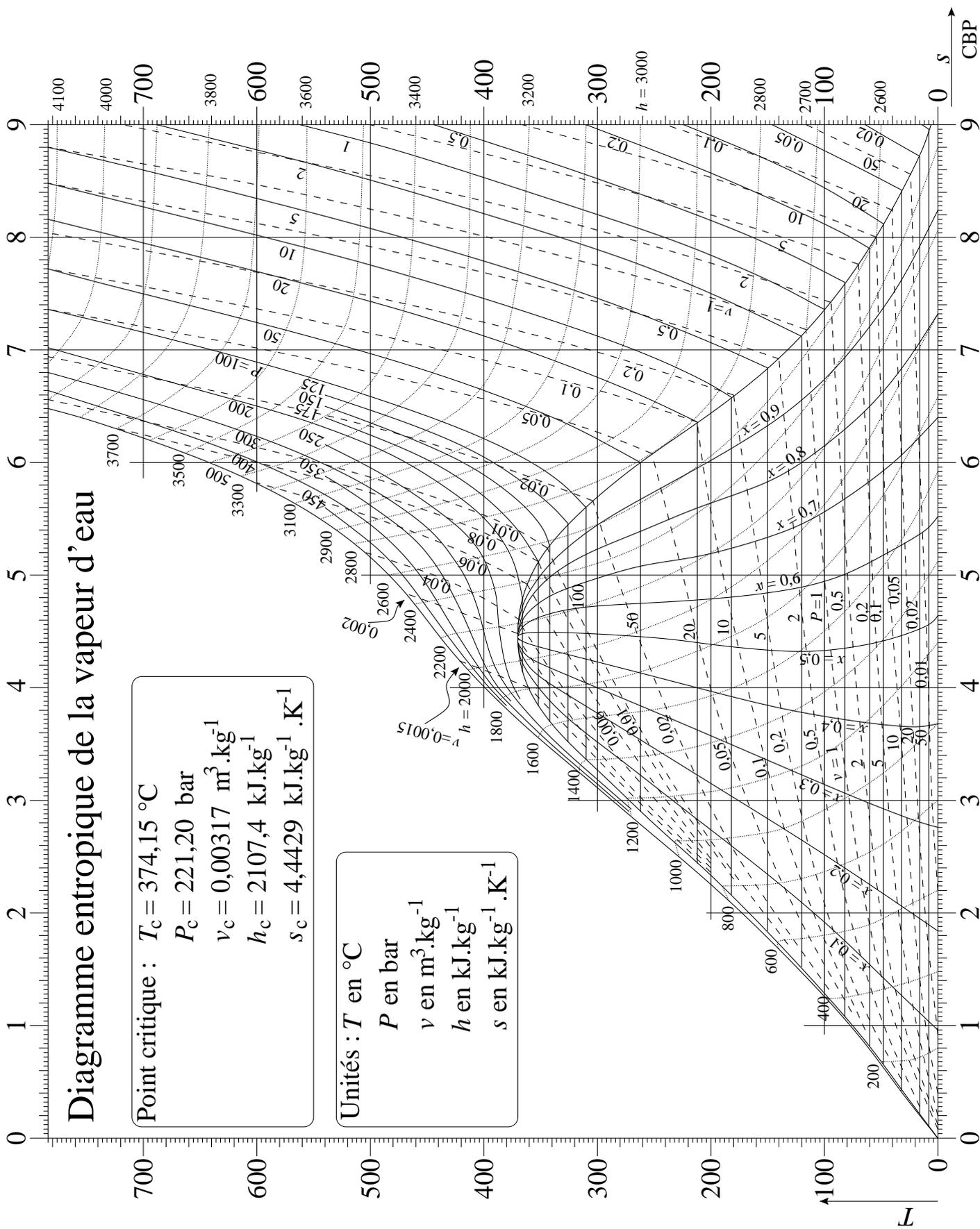
La plupart des centrales électriques fonctionnent avec un circuit dans lequel de l'eau subit des transformations entre l'état liquide et l'état gazeux permettant de transformer un transfert thermique, provenant de la combustion du charbon ou du réacteur nucléaire, en travail mécanique. Ce travail mécanique est ensuite transformé par un alternateur en énergie électrique par induction.

On étudie un cycle typique : le cycle de Rankine. Le fluide circule en régime stationnaire dans la machine et passe par quatre états successifs :

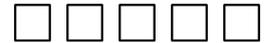
- état 1 : le fluide sort du condenseur à l'état liquide saturant à la température T_1 et la pression $P_1 = P_{\text{sat}}(T_1)$;
- transformation 1 \rightarrow 2 : compression adiabatique réversible par une pompe ;
- état 2 : le fluide est l'état liquide $P_2 > P_1$ et à une température $T_2 \approx T_1$;
- transformation 2 \rightarrow 3 : le fluide passe dans une chaudière de température T_{ch} où il reçoit un transfert thermique à pression constante. Il monte en température, est totalement transformé en vapeur et monte encore en température ;
- état 3 : le fluide est à l'état de vapeur sèche à $T_3 > T_2$ et $P_3 = P_2$;
- transformation 3 \rightarrow 4 : dans la turbine le fluide subit une détente adiabatique et réversible ;
- état 4 : le fluide est à l'état de mélange liquide-vapeur de titre massique en vapeur x_4 , à température $T_4 = T_1$ et à la pression $P_4 = P_1 = P_{\text{sat}}(T_1)$;
- transformation 4 \rightarrow 1 : dans le condenseur de température T_{fr} la vapeur se condense totalement de manière isobare et isotherme.

On néglige la variation des énergies cinétiques et potentielles à la traversée de chacun des éléments.

- 1) Faire un schéma du circuit du fluide.
- 2) Écrire le premier et le second principe industriels pour la transformation 1 \rightarrow 2, en notant w_p le travail reçu par le fluide depuis la pompe.
- 3) Il n'y a pas de pièce mobile dans la chaudière. Écrire le premier et le second principe industriels pour la transformation 2 \rightarrow 3, en notant q_{ch} le transfert thermique reçu par le fluide dans la chaudière.
- 4) Le fluide fournit à la turbine un travail w_t . Écrire le premier et le second principe industriels pour la transformation 3 \rightarrow 4.
- 5) Le fluide fournit de la chaleur au condenseur q_{fr} . Le condenseur ne contient pas de partie mobile. Écrire le premier et le second principe industriels pour la transformation 4 \rightarrow 1.
- 6) Dessiner le cycle sur le diagramme entropique page suivante.
- 7) Comment peut-on obtenir le titre en vapeur x_4 géométriquement sur le schéma ?
- 8) Définir le rendement du cycle comme le rapport de la grandeur utile sur la grandeur coûteuse.
- 9) On donne des valeurs typiques. On a par exemple $P_1 = P_4 = 2 \times 10^4$ Pa, $P_2 = P_3 = 1 \times 10^7$ Pa et la température d'ébullition à P_1 est $T_1 = T_{\text{ch}}(P_1) = 333$ K. Par ailleurs, la température à la sortie de la chaudière est $T_3 = 613$ K. Expliquer comment obtenir graphiquement le rendement sur le diagramme entropique page suivante. En donner une valeur numérique approchée.



T2 – 02 Tuyère et turbine



Une tuyère est un simple conduit de section droite variable placé à l'arrière d'une chambre de combustion produisant des gaz chauds qui permet de transformer l'énergie thermique de ceux-ci en énergie cinétique.

1) De l'air assimilé à un gaz parfait ($\gamma = 1,4$) pénètre dans une tuyère parfaitement calorifugée, à la température $T_1 = 1000$ K sous la pression $P_1 = 10$ bars, avec une vitesse c_1 négligeable, dans laquelle il se détend de manière réversible. À la sortie, la pression est $P_2 = 1$ bar, la température T_2 et la vitesse c_2 . Calculer T_2 et c_2 .

2) Animé de la vitesse c_2 , le gaz entre alors dans une turbine calorifugée, d'où il ressort aux mêmes conditions de température et de pression (T_2, P_2), avec une vitesse négligeable. Quel travail recueille-t-on sur l'arbre de la turbine par unité de masse de gaz l'ayant traversée? Calculer la puissance mécanique disponible au niveau de l'arbre, en fonction de la vitesse d'entrée c_2 , de la masse volumique de l'air ρ et de la section d'entrée S de la turbine.

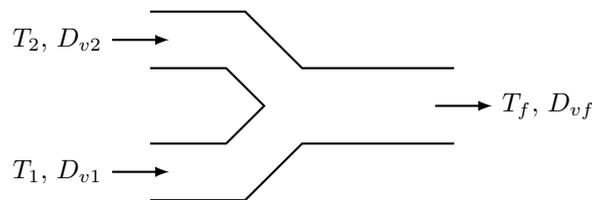
T2 – 04 Mélangeur de douche (Résolution de problème)



On considère un mélangeur de douche (double robinet où on règle l'arrivée d'eau chaude par le robinet de gauche et celle d'eau froide par le robinet de droite, voir image).



On modélise ce mélangeur comme suit.



On note D_{v1} et T_1 le débit volumique et la température sur l'entrée 1 (idem sur l'entrée 2 et sur la sortie f). On note aussi c la capacité thermique massique de l'eau et ρ sa masse volumique supposée constante (l'eau est modélisée par une phase incompressible indilatable).

1) On donne $T_1 = 22^\circ\text{C}$ et $T_2 = 65^\circ\text{C}$. On veut un débit volumique en sortie $D_{vf} = 0,1 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ et une température de sortie $T_f = 38^\circ\text{C}$. Comment régler D_{v1} et D_{v2} ?

T2 – 05 Sèche-cheveux (Résolution de problème)

1) Quelle est la température de l'air en sortie du sèche-cheveux Babyliss Turbo Shine 2200 D570DE ci-dessous?

Puissance	2200 W
Set de coiffure	Non
Accessoires fournis	1 concentrateur 13 x 75 mm, 1 diffuseur large 15 cm
Caractéristiques complémentaires	Moteur DC / Flux d'air 90 km/h / Filtre arrière amovible / Léger / Cordon de 1,95 m



On pourra introduire des données manquantes.

T2 – 03 Turboréacteur

Le turboréacteur est un système de propulsion essentiellement utilisé pour les avions. La poussée résulte de l'accélération de l'air entre l'entrée et la sortie par la combustion d'un carburant (kérosène).

On fait les hypothèses de travail suivantes :

- l'air est considéré comme un gaz parfait diatomique, avec $\gamma = \text{cste}$ et $c_p = 1,00 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- l'écoulement est unidimensionnel et permanent ;
- les variations d'énergie potentielles sont négligées ;
- les variations d'énergie cinétique sont négligées sauf pour la traversée de la tuyère ;
- les évolutions dans le compresseur, la turbine et la tuyère sont adiabatiques réversibles ;
- l'évolution dans la chambre de combustion est isobare ;
- le mélange gazeux (avant et après combustion) est assimilé à de l'air et la combustion ne perturbe pas les caractéristiques de l'air (γ et c_p notamment) ;
- le pouvoir thermique massique du carburant est $\rho_k = 50 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Le débit massique de l'air aspiré (et de l'air réfoulé) est $D_m = 50 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$.

On donne les caractéristiques de l'écoulement de l'air dans le turboréacteur.

- étape 1 \rightarrow 2 : l'air ambiant ($T_1 = 300 \text{ K}$, $P_1 = 1 \text{ bar}$) est aspiré et comprimé par le compresseur, de taux de compression $\tau = P_2/P_1 = 10,0$, puis cet air pénètre à la température T_2 et sous la pression P_2 dans la chambre de combustion où le carburant est injecté ;
- étape 2 \rightarrow 3 : du fait de la combustion du kérosène, l'air subit un échauffement à la température ($P_3 = P_2$) jusqu'à $T_3 = 1200 \text{ K}$;
- étape 3 \rightarrow 4 : le mélange gazeux se détend partiellement dans la turbine ;
- étape 4 \rightarrow 5 : les gaz sont admis dans la tuyère, conduite de section variable, où leur détente se poursuit jusqu'à la pression ambiante $P_5 = P_1 = 1 \text{ bar}$.

- 1) Établir l'expression littérale de la température T_2 à la sortie du compresseur (donc à l'entrée de la chambre de combustion).
- 2) Établir l'expression littérale du travail utile massique $w_{u,1 \rightarrow 2}$ reçu dans le compresseur.
- 3) Le travail utile massique du compresseur vaut $w_{u,1 \rightarrow 2} = 279 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Déterminer numériquement T_2 .
- 4) Déterminer la valeur numérique T_4 à la sortie de la turbine, sachant que le travail fourni par le gaz à la turbine fait fonctionner le compresseur.
- 5) Exprimer littéralement puis numériquement la pression P_4 à la sortie de la turbine.
- 6) Exprimer littéralement puis numériquement la température T_5 à la sortie de la tuyère.
- 7) Par définition la puissance cinétique du turboréacteur est $\mathcal{P}_{\text{cin}} = D_m e_{c,5}$ où $e_{c,5}$ est l'énergie cinétique massique à la sortie de la tuyère. Exprimer \mathcal{P}_{cin} en fonction de T_4 et T_5 .
- 8) Faire l'application numérique de \mathcal{P}_{cin} .
- 9) Le rendement thermique du turboréacteur est par définition :

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\mathcal{P}_{\text{cin}}}{\mathcal{P}_{\text{th}}}$$

avec \mathcal{P}_{th} la puissance thermique reçue par l'air dans la chambre de combustion. Exprimer η_{th} sous la forme d'un rapport de différences de températures.

- 10) Calculer numériquement η_{th} .
- 11) Calculer le débit massique D_k du kérosène consommé dans le turboréacteur.

