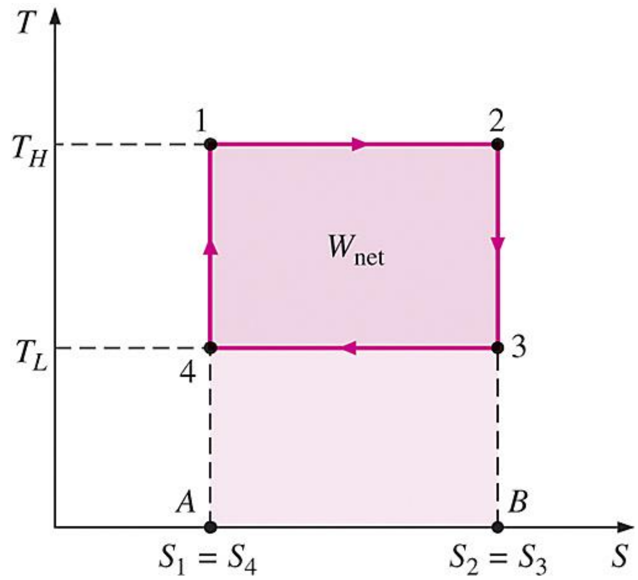
# Échantillon de réponses et comment-faire

TD5 (Chapitres 9, 10 et 11) – Réponses et ‘comment faire’ des problèmes

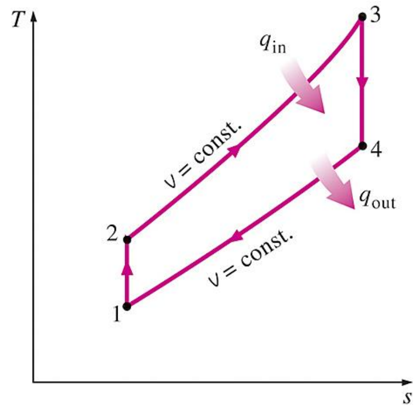
9.21) Réponses: a) 23.2 kPab) 87.5 kJ/kg c) 0.533 d) 0.578
(9.22)
(9-24) Comment: - Dénotons (1) l’état après la compression isentropique, (2) après l’expansion isothermique (à haute température $T_H$), (3) après l’expansion isentropique et (4) après la compression isothermique (à basse température $T_L$):




- La pression minimale est à l’état 3. On connaît l’état initial (1) ($P_1, T_1$), et $\Delta s = \Delta s_{43} = \Delta s_{12}$. Pour un cycle Carnot, on sait que $T_3 = T_4 = T_L$, et connaissant $\Delta s_{34}$ on peut trouver $P_3 / P_4$ avec la l’équation de changement d’entropie pour un gaz parfait. Il s’agit de maintenant de trouver $P_4$ pour trouver $P_3$.
- Avec $T_H = T_1 = T_2$ donnée, ainsi que le travail net (donné), qui est égal à $q_{in} - q_{out} = T_H \Delta s_{12} - T_L \Delta s_{43}$, ce qui nous permet de trouver $T_4 = T_L$. Ensuite, (4)-(1) est une évolution isentropique, donc connaissant $P_1, T_1, T_4$, on peut trouver $P_4$, ce qui nous donne $P_3$.
- Pour une évolution intérieurement réversible *q=Tds*. Donc $q_{out} = T_L \Delta s_{43}$.
- Le cycle Carnot est réversible, donc on peut trouver le rendement à partir de $T_H, T_L$ au lieu de $w_{net}$ et $q_{in}$.
- Le rendement du cycle actuel est obtenu en comparant sa puissance (donnée) à celui du cycle Carnot ($\dot{m}w_{net,Carnot}$).

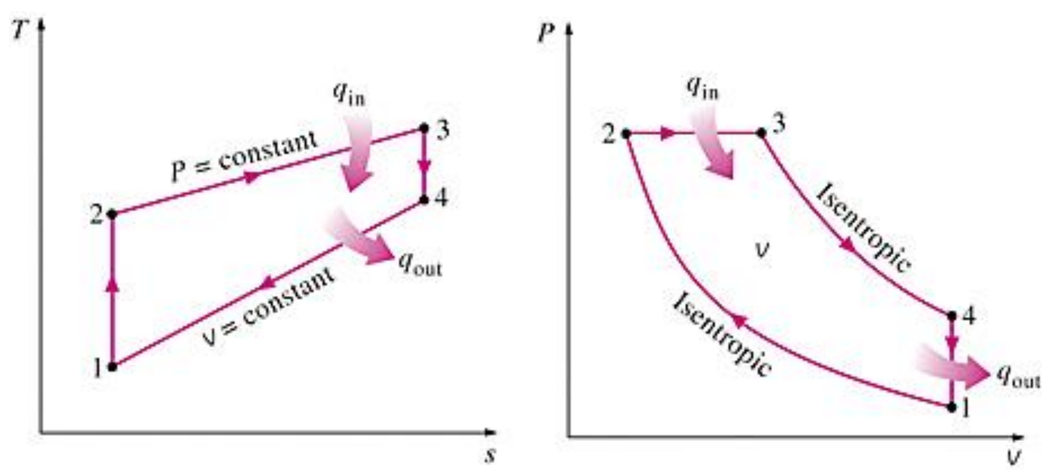
[9-34] Réponses: a) 3898 kPa, 1539 K b) 392.4 kJ/kg c) 52.3% d) 495 kPa

Comment: - Dénotons les états comme sur ce diagramme T-s du cycle idéal de Otto:




- On connaît l'état à l'entrée ( $P_1, T_1$ ), $r(=v_1/v_2)$ et $q_{in}(=u_3-u_2)$. (1) à (2) est une évolution isentropique, connaissant $T_1$ et $v_1/v_2$ on peut donc trouver l'état (2) (donc $u_2$).
- Avec $q_{in}$ donnée, et $u_2$ on peut trouver $u_3$.
- (3)-(4) est une évolution isentropique, connaissant $T_3$ et $\frac{v_4}{v_3}=\frac{v_1}{v_2}=r$, on peut donc trouver $u_4$.
- Connaissant $u_1, u_2, u_3, u_4$ on peut trouver $q_{in}, q_{out}$ et résoudre le reste du problème.

9.49) Réponses: a) 63.5% b) 933 kPa
(9.50)
(9-62) Comment: - Dénotons les états comme sur ces diagrammes du cycle idéal de Otto:




- On connaît l'état à l'entrée ( $P_1, T_1$ ), $r(=v_1/v_2)$ et $T_3$ (max. *T*). (1)-(2) est une évolution isentropique, connaissant $T_1$ et $v_1/v_2$ on peut donc trouver l'état (2) (donc $T_2, P_2$ ) (ici, on demande d'utiliser les valeurs constantes de *Cp, Cv* et *k*)
- Avec $T_3$ donnée et $P_3 = P_2$, on peut définir l'état (3).

- Le bilan d'énergie sur le système de (2) à (3) donne $q_{in}$ .
- (3)-(4) est une évolution isentropique, connaissant $T_3, v_3$ et $v_4 (= v_1)$, on peut donc trouver l'état (4).
- Connaissant $T_1, T_2, T_3, T_4$ on peut trouver $q_{in}, q_{out}$ et résoudre le reste du problème.

9.107) Réponses: a) 0.335 (rapport de travail), 0.368 (rendement) b) 0.335, 0.553

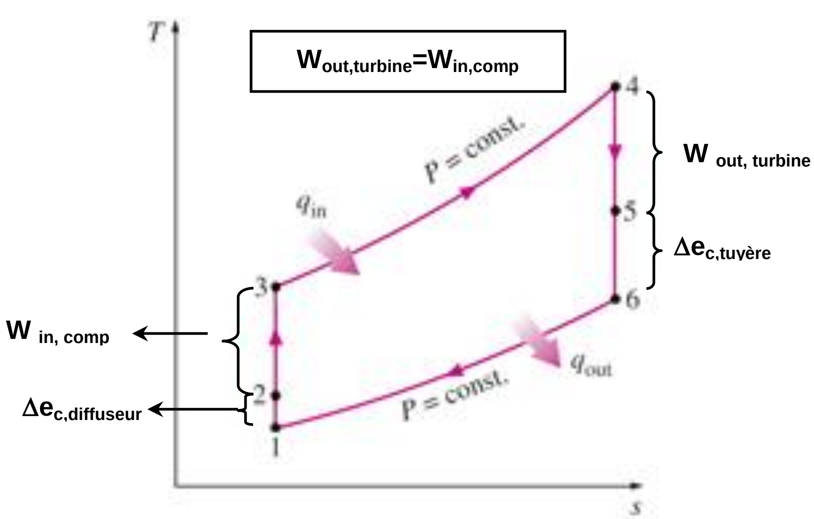
(9.111)

(9-131) Comment: - Dénotons les états comme sur les figures 9-43 et 9-44 à la page 518 du livre.
- L'énoncé spécifiant $c_v$ et $c_p$ variables veut dire qu'on doit utiliser l'approche exacte, c'est-à-dire la table de gaz parfait pour l'air.
- Connaissant $T_1, T_3, T_6, T_8$, on peut trouver $h_1, h_3, h_6, h_8$ et $P_{r1}, P_{r3}, P_{r6}, P_{r8}$
- Connaissant $P_{r1}, P_{r3}, P_{r6}, P_{r8}, (P_2 / P_1), (P_4 / P_3), (P_6 / P_7)$ et $(P_8 / P_9)$ on peut trouver $h_2, h_4, h_7, h_9$.
- Les bilans d'énergie sur les turbines, compresseurs et chambres de combustion nous donnent $w_{comp}, w_{turb}, q_{in}$ en terme de ($h_1, h_2, h_3, h_4$), ($h_6, h_7, h_8, h_9$) et ($h_4, h_6, h_7, h_8$), respectivement. On peut ainsi calculer le rapport de travail et le rendement du cycle.
- Lorsque le régénérateur est présent, $q_{in}$ est maintenant fonction de ($h_5, h_6, h_7, h_8$) et l'efficacité de régénération nous donnent $h_5$ à partie de ($h_4, h_9$). $q_{in}$ sera plus petit et on peut recalculer le rendement. Les travaux de compression et d'expansion restent inchangés, donc le rapport de travail reste le même.

9.116) Réponses : a) 1032 m/s b) 13670 kW c) 1.14 kg/s

(9.120)

(9-145) Comment: - Dénotons les états comme sur le diagramme T-s ci-dessous:

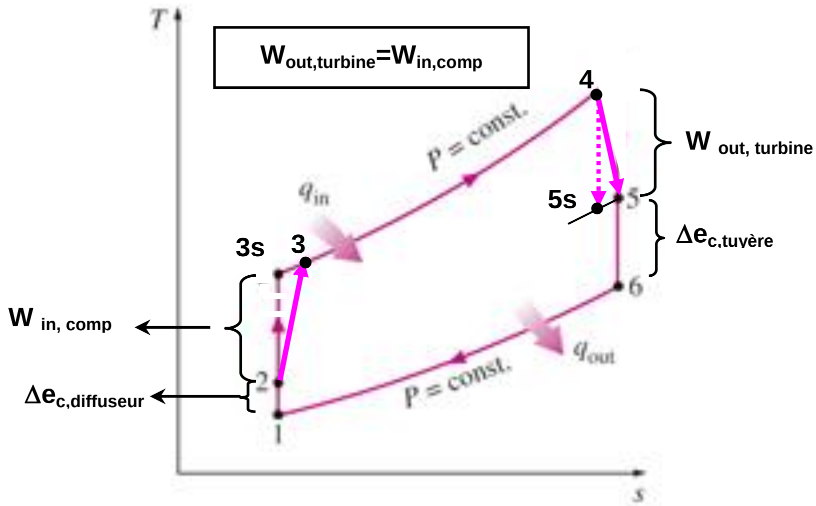


- L'énoncé spécifiant $c_v$ et $c_p$ constantes (au valeurs à 300K) veut dire qu'on peut utlisier les relations isentropiques avec k constant (=1.4 à 300K). On peut aussi supposer que la vitesse à la sortie du diffuseur et à l'entrée de la tuyère est négligeable.
- Connaissant $P_1, T_1, \upsilon_1 (= \upsilon_{avion})$, on peut trouver $T_2$ avec un bilan d'énergie sur le diffuseur
- La relation isentropique ($TP^{\frac{1-k}{k}} = const.$) entre les états 2 et 3 (compresseur), avec $P_3 / P_2 = 12$ (fournie), donne $T_3$.
- Avec $T_4$ donnée, et sachant que pour un turboréacteur, $\dot{W}_{out,turbine} = \dot{W}_{in,comp}$, et maettant ces puissances en termes des enthalpies (bilans d'énergie sur turbine et compresseur), donc de températures, aux états 2,3,4 et 5 permet de trouver $T_5$.
- Sachant que $\frac{P_4}{P_6} = \frac{P_3}{P_1} = \frac{P_3}{P_2}\frac{P_2}{P_1}$ et en y ajoutant la relation isentropique ($TP^{\frac{1-k}{k}} = const.$) entre les états 1 et 2, et entre 4 et 6, on peut trouver $T_6$
- Le bilan d'énergie sur le diffuseur donne $\upsilon_6$ en terme de $c_p, T_5, T_6$.
- La puissance propulsive est:
$\dot{W}_{propulsive} = F_{poussée} \cdot \upsilon_{avion} = (\dot{m}_{air}(\upsilon_6 - \upsilon_{avion})) \cdot \upsilon_{avion} = (\dot{m}_{air}(\upsilon_6 - \upsilon_1)) \cdot \upsilon_1$
- la chaleur ajoutée à l'air est obtenue par un bilan d'énergie sur la chambre de combustion entre les états 3 et 4 comme étant la combustion ($\dot{m}_{air}(h_4 - h_3)$) est aussi égale aux débit de carburant multiplié par la valeur énergétique du carburant (42 700 kJ/kg), ce qui nous permet de trouver le débit requis de carburant.

9.117) Réponses : a) 913.1 m/s  b) 11388 kW  c) 1.03 kg/s

(9.121)

(9-146) Comment: - Avec les irréversibilités dans le compresseur et la turbine, le diagramme T-s pour un turboréacteur devient:



- On utilise le m^me raisonnement que pour le problème 9-117 excepté que :
  i) pour l'état 3, il faut considérer le rendement isentropique du compresseur pour obtenir $T_3$ à partir de $T_{3s}$.
  ii) pour l'état 6, il faut référer à l'état 5 et non l'état 4 car seul l'évolution entre les états 5 et 6 est isentropique. Sachant que:

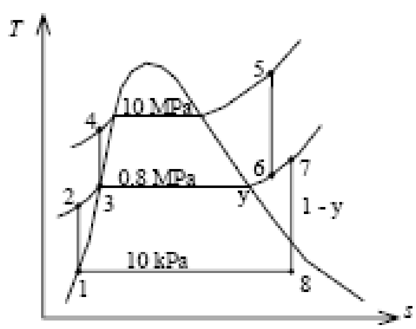
$$\frac{P_6}{P_5} = \frac{P_6}{P_1}\frac{P_1}{P_2}\frac{P_2}{P_3}\frac{P_3}{P_4}\frac{P_4}{P_5} = (1)\frac{P_1}{P_2}\frac{P_2}{P_3}(1)\left(\frac{P_4}{P_{5s}}\right) = \frac{P_1}{P_2}\frac{P_2}{P_3}\frac{P_4}{P_{5s}} \quad \text{(notons que } P_{5s} = P_5\text{)}$$

et en y ajoutant la relation isentropique ($TP^{\frac{1-k}{k}} = const.$) entre les états 1 et à 2, et entre 4 et 5s (on doit utiliser le rendement de la turbine pour obtenir $T_{5s}$ à partir de $T_5$), on peut trouver $T_6$.

10.7) Réponses : En réduisant la pression du condenseur,
(10-8)

i) la puissance requise par la pompe augmente
ii) la puissance de la turbine augmente
iii) la chaleur fournie augmente
iv) la chaleur rejetée diminue
v) le rendement du cycle augmente
vi) la proportion de liquide à la sortie de la turbine augmente (titre diminue)

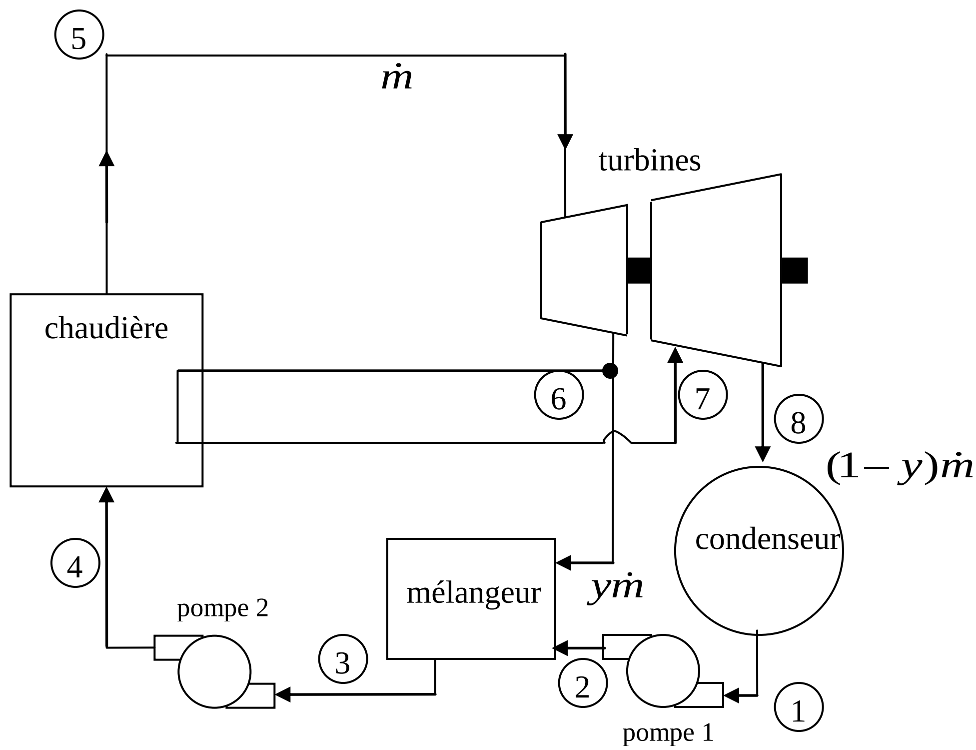
[10-49] Réponses:




b) 54.5 kg/s c) 44.4%

Comment: - Dénotons les états comme sur le schéma accompagnant l'énoncé (voir page suivante)
- On connaît l'état (5) ($P_5, T_5$), donc $h_5$, ainsi que les valeurs de $P_4 (= P_5)$, $P_6 (= P_7 = P_2 = P_3)$, $P_8 (= P_1)$ et $T_7$, donc $h_7$, ainsi que la puissance nette.
- En se basant sur un cycle idéal, on peut supposer que les états (1) et (3) sont des liquides saturés, ce qui avec $P_1, P_3$ connus spécifient les états (1) et (3) donc $h_1, h_3$.
- Le bilan d'énergie de (1) à (2) avec travail réversible (vdP) donne $h_2$.
- La même analyse pour l'évolution (3)-(4) donne $h_4$.
- Connaissant $P_6$ et $s_6 (= s_5)$, détermine l'état (6), donc $h_6$.
- Connaissant $P_8$ et $s_8 (= s_7)$, détermine l'état (8), donc $h_8$.

- Connaissant les phases aux états (6) et (8), on peut dessiner le diagramme T-s avec lignes de saturation.
- Bilan d'énergie sur le régénérateur (états (2), (6) et (3)) donne *y* (la fraction de vapeur extraite).
- L'expression de la puissance nette en terme des enthalpies, *y* et $\dot{m}$ donne $\dot{m}$ .
- Le calcul de $Q_{in}$ à partir de $\dot{m}$ , *y* et les enthalpies aux états (4), (5), (6) et (7) permet de calculer le rendement.




11.10) Réponses: a) 0.4797 b) 5.40 kW ($\dot{Q}_L$) c) 2.15 d) 12.71 kW

(11-11)

Comment: - Les états (1) et (2) *(P, T)* sont spécifiés. On peut supposer qu'il n'y a pas de perte de pression dans le condensateur et l'évaporateur, donc $P_3 = P_2$ (ce qui nous permet de déterminer l'état (3)) et $P_4 = P_1$. Finalement, le bilan d'énergie sur la valve d'expansion donnerait $h_4 = h_3$, ce qui fixerait l'état (4) et déterminerait $x_4$.

- Le bilan d'énergie sur le condenseur (incluant l'eau de refroidissement qui y circule) permet de trouver le débit massique du réfrigérant. Utilisant ce débit dans le bilan d'énergie sur l'évaporateur donne transfert de chaleur $\dot{Q}_L$.
- Le bilan d'énergie sur le compresseur donne le travail fourni, ce qui, avec $\dot{Q}_L$, permet de calculer le COP.
- $\dot{Q}_{L,\max}$ peut être obtenu à partir du COP d'un cycle réversible opérant entre les mêmes réservoirs thermiques.