

Cours de Conversion d'énergie, Examen du 21.10.2022, partie I

☐ 0	☐ 0	☐ 0	☐ 0	☐ 0	☐ 0
☐ 1	☐ 1	☐ 1	☐ 1	☐ 1	☐ 1
☐ 2	☐ 2	☐ 2	☐ 2	☐ 2	☐ 2
☐ 3	☐ 3	☐ 3	☐ 3	☐ 3	☐ 3
☐ 4	☐ 4	☐ 4	☐ 4	☐ 4	☐ 4
☐ 5	☐ 5	☐ 5	☐ 5	☐ 5	☐ 5
☐ 6	☐ 6	☐ 6	☐ 6	☐ 6	☐ 6
☐ 7	☐ 7	☐ 7	☐ 7	☐ 7	☐ 7
☐ 8	☐ 8	☐ 8	☐ 8	☐ 8	☐ 8
☐ 9	☐ 9	☐ 9	☐ 9	☐ 9	☐ 9

Questions:

2 points à disposition au total pour cette partie

Pour chaque question il y a exactement une réponse correcte. Si vous avez choisi:

- la seule réponse correcte; $\rightarrow +0.2$ points
- une seule réponse incorrecte $\rightarrow -0.06$ points;
- 0 ou plus d'une réponse $\rightarrow 0$ points.

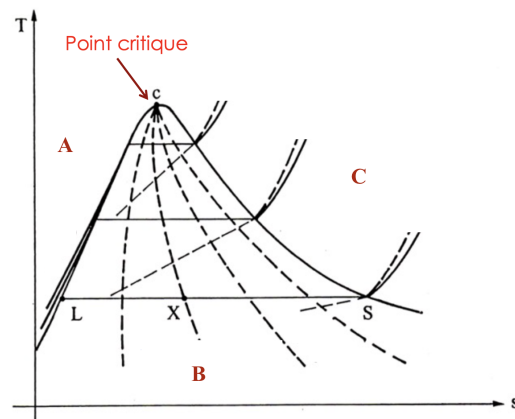
$\leftarrow$ Veuillez indiquer votre numéro SCIPER ici et écrire votre nom complet dans la case ci-dessous. $\downarrow$

Nom, Prénom:

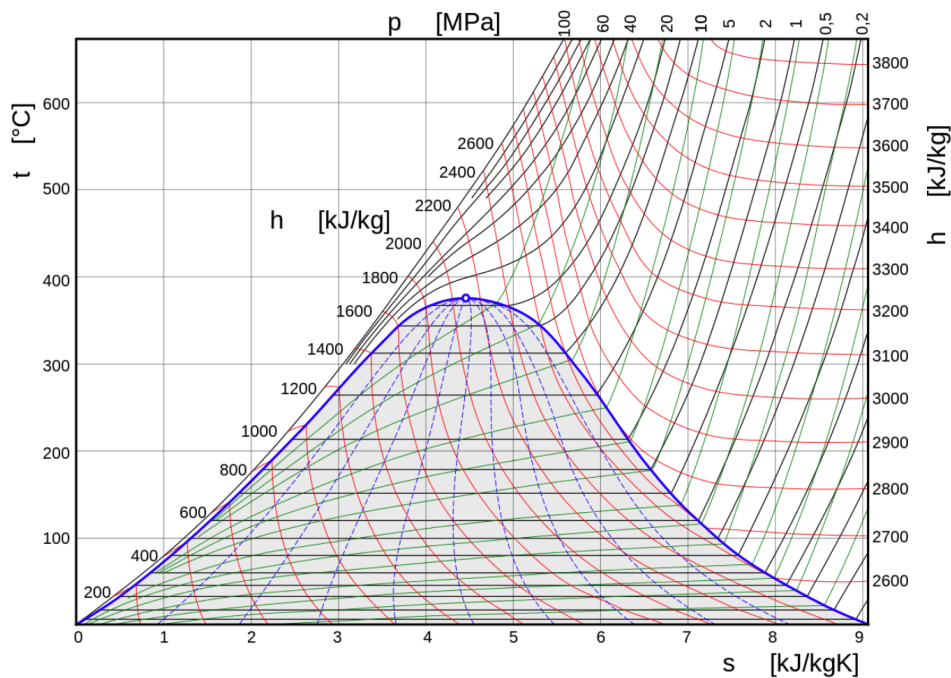
.....

Questions

1. Se référer à la figure ci-dessous. Sélectionnez les noms correspondant aux statuts A, B et C.

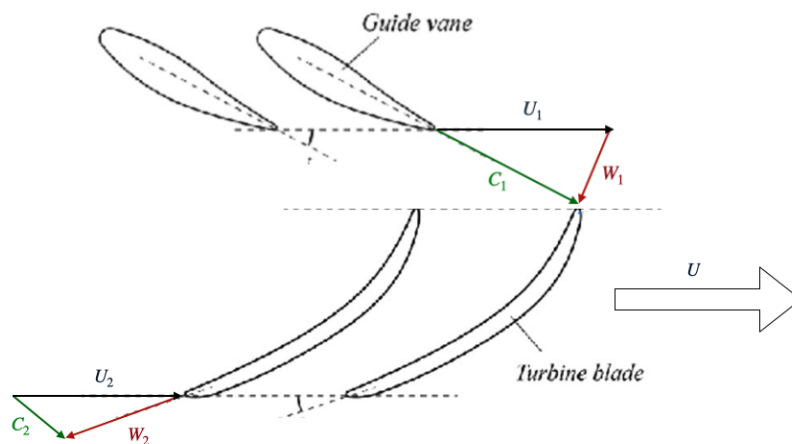


- ☐ $A = \text{Liquide}, B = \text{Vapeur}, C = \text{Liquide} + \text{Vapeur}.$
☐ $A = \text{Liquide} + \text{Vapeur}, B = \text{Liquide}, C = \text{Vapeur}.$
☒ $A = \text{Liquide}, B = \text{Liquide} + \text{Vapeur}, C = \text{Vapeur}.$
☐ Aucune de ces réponses. Les différents états apparaissent uniquement dans le diagramme. $\{h,s\}$
2. Quelle affirmation parmi les suivantes est **fausse**? Un réservoir d'un système R satisfait les conditions suivantes:
- ☐ il est fermé.
☐ il passe seulement par des états d'équilibre stable.
☒ il a une température variable.
☐ il est compris dans une région d'espace fixe R.
3. En utilisant le diagramme T-s de l'eau (Figure ci-dessous), quelle quantité de chaleur spécifique doit être extraite du système afin de réduire la température de la vapeur de 400°C à 300°C, à pression constante de 50 bars ?



- ☒ 300 kJ/kg.
☐ 600 kJ/kg.
☐ 1 kJ/(kgK).
☐ 0.5 kJ/(kgK).

4. L'usine de Grand'maison est la centrale hydroélectrique la plus puissante de France, avec une hauteur de chute de 922 mètres. Quel type de turbine sont probablement présentes dans la centrale?
- ☐ Kaplan.
- ☒ Pelton.
- ☐ Francis.
- ☐ Aucune de ces réponses. Il n'est pas possible d'avoir une chute aussi haute.
5. Pour la turbine Francis fonctionnant avec les triangles de vitesse indiqués sur la figure, laquelle des affirmations suivantes est **fausse**?

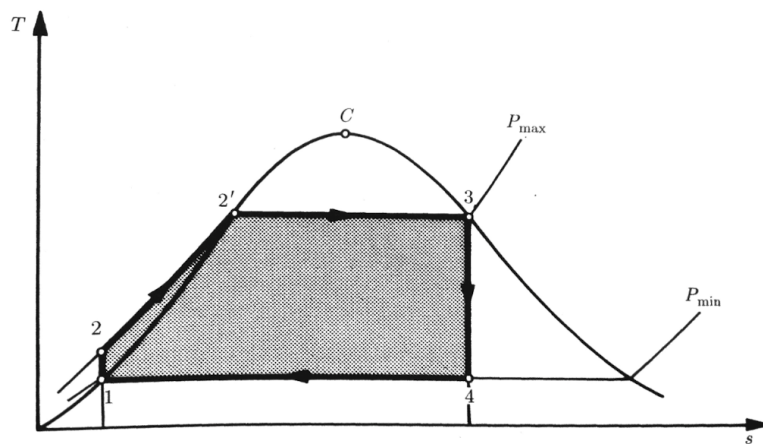


- ☐ La turbine n'est pas au "Best Efficiency Point" (BEP).
- ☐ Le débit doit être augmenté pour améliorer le rendement.
- ☒ La turbine travaille à un débit supérieur au point de rendement maximal.
- ☐ En modifiant la vitesse de rotation de la turbine, le rendement peut être amélioré.
6. Une turbine Kaplan a une vitesse de rotation $n = 300$ tr/min. L'eau entre dans la roue, à $R = 0.5$ m, avec une vitesse absolue $c_{u1} = 40$ m/s et sort de la turbine avec une certaine vitesse absolue c_{u2} . Choisissez la valeur de la vitesse absolue de sortie c_{u2} qui maximise le travail spécifique généré par la turbine:
- ☐ 40 m/s.
- ☐ 20 m/s.
- ☐ 10 m/s.
- ☒ 0 m/s.

7. Pour une turbine éolienne idéale, laquelle des affirmations suivantes est vraie pour le coefficient de puissance C_p :

- ☐ il atteint son maximum pour une valeur du facteur d'induction de flux axial a égale à 0.5.
- ☐ sa valeur maximale est de $27/16$.
- ☒ il est le rendement d'une turbine éolienne à axe horizontal par rapport à l'énergie cinétique contenue dans le 'stream tube'.
- ☐ il est limité à l'unité.

9. Se référer à la Figure ci-dessous représentant un cycle de Rankine. Sélectionner la ou les transformations nécessitant un échangeur de chaleur.



- ☐ 1 - 2 et 3 - 4.
- ☐ 1 - 2'.
- ☒ 2 - 3 et 4 - 1.
- ☐ Aucune de ces réponses. Le cycle représenté est un cycle de Brayton.

10. Le brusque changement de pression à travers le disque actuateur d'une turbine éolienne est du à:

- ☒ l'acquisition de vitesse tangentielle de l'air.
- ☐ la réduction de vitesse tangentielle de l'air.
- ☐ l'augmentation du débit massique.
- ☐ Aucune de ces réponses, il n'y a pas de changement de pression.

Cours de Conversion d'énergie, Examen du 21.10.2022, partie II

Exercice:

3 points à disposition au total pour cette partie

☐ 0	☐ 0	☐ 0	☐ 0	☐ 0	☐ 0
☐ 1	☐ 1	☐ 1	☐ 1	☐ 1	☐ 1
☐ 2	☐ 2	☐ 2	☐ 2	☐ 2	☐ 2
☐ 3	☐ 3	☐ 3	☐ 3	☐ 3	☐ 3
☐ 4	☐ 4	☐ 4	☐ 4	☐ 4	☐ 4
☐ 5	☐ 5	☐ 5	☐ 5	☐ 5	☐ 5
☐ 6	☐ 6	☐ 6	☐ 6	☐ 6	☐ 6
☐ 7	☐ 7	☐ 7	☐ 7	☐ 7	☐ 7
☐ 8	☐ 8	☐ 8	☐ 8	☐ 8	☐ 8
☐ 9	☐ 9	☐ 9	☐ 9	☐ 9	☐ 9

← Veuillez indiquer votre numéro SCIPER ici et écrire
votre nom complet dans la case ci-dessous. ↓

Nom, Prénom:

.....

Énoncé

Dans un cycle d'air standard idéal de Brayton, l'air entre dans le compresseur à pression atmosphérique et sort à 610.3 K. La température à la sortie de la turbine est de 690.5 K. Pour ces conditions:

1. Dessinez les principales unités du système (un groupe turbogaz avec un seul arbre rotor) **(0.25 points)**.
2. Dessinez le cycle sur un diagramme T-s. En prenant comme point 1 l'injection d'air dans le compresseur, comme point 2 la sortie du compresseur, comme point 3 la sortie de la chambre de combustion et comme point 4 la sortie de la turbine **(0.25 points)**.
3. Calculez la chaleur ajoutée dans la chambre de combustion en sachant que la chaleur développée par la combustion de 1 kg de gaz naturel est égale à 54 MJ (pouvoir calorifique du gaz naturel) et que la chambre de combustion consomme 1.5 kg s^{-1} de gaz naturel **(0.5 points)**.
4. Déterminez la pression et la température à chaque point du cycle **(0.5 points)**.

5. Calculez la puissance nécessaire pour la compression **(0.5 points)**.
6. Calculez la puissance fournie par la turbine **(0.25 points)**.
7. Calculez l'efficacité énergétique du cycle **(0.25 points)**.
8. On considère le cycle combiné gaz-vapeur où le générateur de vapeur est réalisé par un échangeur de chaleur qui utilise le gaz chaud en sortie de la turbine du cycle Brayton. Calculez la chaleur donnée au cycle à vapeur Rankine P_{inr} en connaissant les rendements du cycle combiné η_c et du cycle Rankine η_r **(0.5 points)**.

Données

- Pour une compression isentropique:

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^\delta$$

$$\delta = \frac{\gamma - 1}{\gamma}$$

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1.4$$

- Pour une détente isentropique:

$$\left(\frac{T_4}{T_3}\right) = \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^\delta$$

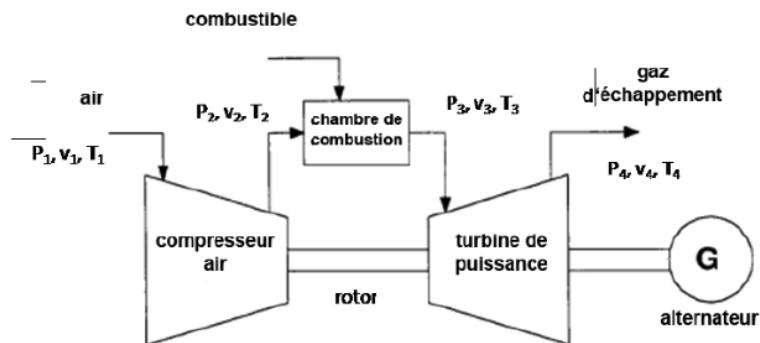
$$\delta = \frac{\gamma - 1}{\gamma}$$

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1.4$$

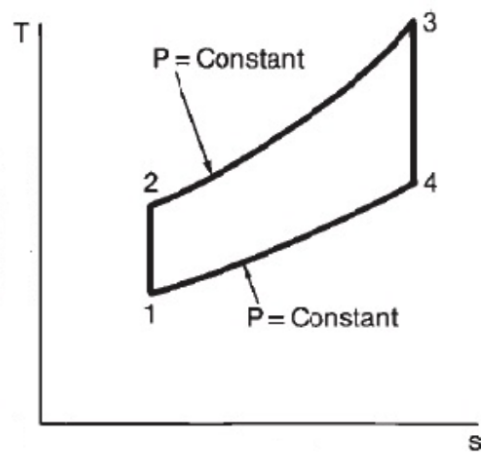
- Chaleur spécifique à pression constante de l'air $c_p = 1.0087 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- Rapport de compression du compresseur $K_c = P_{out}/P_{in} = 15$
- Efficacité du cycle combiné $\eta_c = 67\%$
- Efficacité du cycle à vapeur $\eta_r = 40\%$

Solution

Groupe turbogaz avec un seul arbre rotor:



Cycle de Brayton sur un diagramme T-s:



Les transformations 1-2 et 3-4 sont isentropiques.

Calculer la chaleur ajoutée dans la chambre de combustion

La chaleur développée peut se calculer en connaissant le débit de gaz naturelle $\dot{m}_{GN}$ et son pouvoir calorifique $\Delta_c H^0$:

$$Q_e = Q_{23} = \dot{m}_{GN} \cdot \Delta_c H^0 = 1.5 \cdot 54 = 81 \text{ MW}$$

Déterminer la pression et la température à chaque point du cycle

Point 1 - Entrée du compresseur:

$$P_1 = P_{atm} = 1 \text{ bar}$$

$$T_1 = T_2 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^\delta = 281.5 \text{ K}$$

Point 2 - Sortie du compresseur:

$$P_2 = P_1 \cdot K_c = 15 \text{ bar}$$
$$T_2 = 610.3 \text{ K}$$

Point 3 - Entrée de la turbine

$$P_3 = P_2 = 15 \text{ bar}$$
$$T_3 = T_4 \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{-\delta} = 1496.8 \text{ K}$$

Point 4 - Sortie de la turbine

$$P_4 = P_1 = 1 \text{ bar}$$
$$T_4 = 690.5 \text{ K}$$

Calculer la puissance nécessaire pour la compression

$$\dot{m} = \frac{Q_e}{C_p(T_3 - T_2)} = \frac{81}{1.0087(1496.8 - 610.3)} = 90.58 \text{ kg s}^{-1}$$
$$W_c = \dot{m} C_p (T_2 - T_1) = 90.58 \cdot 1.0087(610.3 - 281.5) = 30.04 \text{ MW}$$

Calculer la puissance fournie par la turbine

$$W_t = \dot{m} C_p (T_3 - T_4) = 90.58 \cdot 1.0087(1496.8 - 690.5) = 73.67 \text{ MW}$$

Calculer l'efficacité énergétique du cycle

$$\eta_B = \frac{W_t - W_c}{Q_e} = \frac{73.67 - 30.04}{81} = 53.9\%$$

Calculer la chaleur donnée au cycle a vapeur Rankine

$$P_{out,r} = \eta_c * Q_e - W_t + W_c = 10.64 \text{ MW}$$
$$P_{in,r} = \frac{P_{out,r}}{\eta_r} = 26.59 \text{ MW}$$