

# Sujet d'examen PS82/ER41 Automne 2024

Documents non autorisés- Calculatrices autorisées - Durée : 1h30

## Questions de bon sens :

**Question 1** : Une bouteille thermos ou vase de Dewar est constituée d'une bouteille en verre (ou éventuellement en acier inox) à deux parois argentées entre lesquelles on a fait le vide. Cette bouteille est placée dans un support (plastique par exemple) et maintenue par des cales. Un bouchon hermétique vient fermer cette bouteille. Expliquer, en citant les différents mécanismes de transmission de la chaleur, comment la boisson chaude ou froide est bien isolée de l'extérieur qui est à une température très différente.

**Question 2** : Répondez aux questions. (il est possible d'avoir plusieurs réponses)

1. Quel est le nom générique d'un dispositif cycle qui transforme de la chaleur en travail ?

- a- un réfrigérateur
- b- une pompe à chaleur
- c- un moteur diesel
- d- une machine thermique
- e- un cycle de Carnot

2- La zone à l'intérieur d'une courbe dans un diagramme PV est:

- a- le travail effectué par le système au cours d'un cycle
- b- le travail fourni au système au cours d'un cycle
- c- l'énergie thermique échangée par le système au cours d'un cycle
- d- la chaleur transférée par le système à l'extérieur au cours d'un cycle

3- L'efficacité d'une machine thermique est déterminée par:

- a- sa conception
- b- la quantité de chaleur échangée
- c- les pressions minimum et maximum
- d- le facteur de compression
- e- les températures minimum et maximum

4- La machine ayant le meilleur rendement utilise:

- a- un cycle de Brayton

- b- un cycle de Joule
- c- un cycle de Carnot
- d- un cycle d'Otto
- e- un cycle de Diesel

5- De manière générale lequel de ces moteurs possède le meilleur rendement

- a- un moteur essence
- b- un moteur électrique
- c- un moteur diesel
- d- un moteur hybride essence/électrique
- e- une machine à vapeur

## Exercice 1 : Hybridation et Formule 1

Dans le cadre de la réglementation 2024, les moteurs de Formule 1 doivent être des groupes motopropulseurs hybrides. Ils se composent d'un moteur thermique (MCI moteur à combustion interne ou ICE) fonctionnant au carburant durable et de deux systèmes de récupération d'énergie : le MGU-K (récupération d'énergie cinétique) et le MGU-H (récupération d'énergie thermique des gaz d'échappement).

Le moteur thermique est un moteur à allumage commandé (cycle de Beau de Rochas). Le carburant utilisé a un pouvoir calorifique  $PCI = 42MJ/kg$ . La réglementation impose une limite

de débit massique de carburant à  $\frac{dm_{carburant}}{dt} = 100kg/h$

On considère les données suivantes :

- La température des gaz brûlés sortant du moteur est de  $950K$ , avec une pression de  $2\text{ bars}$ .
- La température de l'air ambiant est de  $300\text{ K}$ , et la pression est  $1\text{ bar}$ .
- Le moteur thermique du groupe motopropulseur hybride de Formule 1 fonctionne au carburant durable et affiche un rendement amélioré  $\eta_{MCI} = 0,60$
- Le MGU-H récupère  $20\%$  de l'énergie thermique contenue dans les gaz d'échappement.
- Le MGU-K récupère  $30\%$  de l'énergie cinétique des freins.
- Les pertes totales dues à la conversion électrique sont estimées à  $10\%$ .

On cherche à analyser le rendement global du groupe motopropulseur hybride.

### Questions :

1. Expliquez le fonctionnement de ce type de moteur en utilisant un schéma.

2. Calculez la puissance thermique maximale fournie consommée par le moteur thermique seul, puis en déduire la puissance maximale fournie par le moteur thermique en tenant compte du rendement  $\eta_{MCI}$
3. En supposant que toute l'énergie thermique des gaz brûlés est disponible à leur température de sortie, estimez l'énergie récupérable par le MGU-H. (on supposera que le débit massique des gaz est équivalent à celui du carburant)
4. Lors d'un freinage d'une durée estimée à 5 seconde, la voiture dissipe (500 kJ). Quelle est l'énergie effectivement récupérée par le MGU-K et disponible pour alimenter la batterie ? En déduire la puissance récupérée par le MGU-K.
5. En combinant les contributions des différentes parties (MCI, MGU-H et MGU-K), calculez la puissance globale du groupe motopropulseur, puis en déduire le rendement global en supposant un fonctionnement stationnaire à puissance maximale.
6. Comparaison avec un moteur classique :  
Un moteur thermique classique de voiture de sport affiche un rendement global de  $\eta_{classique} = 0,35$ . Comparez ce rendement avec celui obtenu pour le moteur hybride de Formule 1 et discutez des implications énergétiques et environnementales.
7. Nouvelle réglementation 2026  
Dans la réglementation 2026, le MGU-H va disparaître et le MGU-K va être renforcé avec la possibilité d'avoir une hybridation ayant jusqu'à 45% de puissance électrique. Que pensez vous de cette nouvelle réglementation d'un point de vue thermodynamique.

**Données supplémentaires :**

- Gaz parfaits :  $c_p = 1,1 \text{ kJ/kg.K}$ ,  $R_s = \frac{R}{M} = 287 \text{ J/kg.K}$ ,  $M_{air} = 0,28964 \text{ kg.mol}^{-1}$ .
- Masse volumique des gaz brûlés à la sortie :  $\rho = 0,8 \text{ kg/m}^3$ .

**Indications :**

- La puissance thermique consommée par le moteur thermique peut être calculée comme  $P_{th} = \dot{m}_{carburant} \cdot PCI$ .
- L'énergie thermique des gaz d'échappement peut être estimée en supposant une variation enthalpique  $Q = m_{gaz} \cdot c_p \cdot \Delta T$ .

**Exercice 2 : Etude d'un système ouvert**

Un compresseur adiabatique fait partie d'un système ouvert où de l'air est comprimé de l'état initial  $P_1 = 1 \text{ bar}$ ,  $T_1 = 300 \text{ K}$  jusqu'à une pression finale  $P_2 = 6 \text{ bar}$ . L'air peut être supposé comme un gaz parfait avec :

- $c_p = 1005 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ,
- $c_v = 718 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ,
- $R = 287 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ .

Le débit massique d'air traversant le compresseur est  $\dot{m} = 1 \text{ kg/s}$ . Le compresseur fonctionne de manière adiabatique réversible (isentropique).

### Questions:

#### 1. Étude du cycle dans le diagramme P-V :

- Écrivez la relation liant P, V, et T pour une transformation isentropique.
- Exprimez le volume spécifique initial  $V_1$ .
- Déterminez le volume spécifique final  $V_2$ .
- Représentez graphiquement la transformation dans le diagramme P-V.

#### 2. Étude énergétique :

- Calculez la température finale  $T_2$  en utilisant la relation isentropique.
- Déduisez l'enthalpie massique à l'entrée et à la sortie du compresseur ( $h_1$  et  $h_2$ ).
- Déterminez le travail massique fourni au compresseur ( $w$ ) et la puissance totale nécessaire ( $\dot{W}$ ).

#### 3. Discussion :

- Comparez le travail nécessaire pour une compression isentropique et une compression isotherme (température constante).
- Quels sont les avantages d'une compression isentropique ?

#### 4. Pour aller plus loin:

Pourquoi une compression isotherme peut-elle être plus avantageuse dans certains cas ?

### Données et formules utiles :

- Travail massique pour une compression isentropique :  $w = c_p \cdot (T_2 - T_1)$ .
- Enthalpie massique pour un gaz parfait :  $h = c_p \cdot T$ .
- Puissance fournie au compresseur :  $\dot{W} = \dot{m} \cdot w$ .