

**BREVET DE TECHNICIEN**  
**SUPÉRIEUR**  
**MAINTENANCE INDUSTRIELLE**

**ÉPREUVE : SCIENCES PHYSIQUES**

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

*L'usage de la calculatrice est autorisé.*

**IMPORTANT** : Ce sujet comporte 3 pages numérotées de 1 à 3 + la page de présentation.  
Assurez-vous qu'il est complet. S'il est incomplet, veuillez le signaler au surveillant de la  
salle qui vous en remettra un autre exemplaire.

## **Problème I : Étude d'une machine synchrone (12 Points)**

Ce problème concerne l'étude d'une machine synchrone installée dans une usine hydroélectrique.

Dans tout le problème, on suppose que la machine synchrone est une machine à pôles lisses non saturée. L'équation de la caractéristique à vide, relevée à la vitesse nominale, est donnée par la relation :  $E = 2,8 I_{ex}$ .

$E$  est la f.é.m. d'un enroulement, exprimée en volts et  $I_{ex}$  le courant continu circulant dans le circuit inducteur, exprimé en ampères.

Dans tout le problème, la machine est couplée en étoile.

### **I-A Étude de la machine**

- La résistance d'un enroulement statorique est  $R = 0,020 \Omega$ .
- Les caractéristiques nominales de la machine synchrone sont les suivantes :
  - Puissance apparente nominale:  $S_n = 10 \text{ MVA}$ .
  - Valeur efficace de la tension composée:  $U = 3500 \text{ V}$ .
  - Fréquence des grandeurs électriques statoriques :  $50 \text{ Hz}$ .
  - Vitesse de rotation nominale du rotor:  $93,75 \text{ tr/min}$ .

I-A-1 Calculer la valeur efficace de l'intensité nominale des courants statoriques en ligne.

I-A-2 Calculer le nombre de pôles.

I-A-3 Calculer la tension aux bornes d'un enroulement.

### **I-B Étude d'un fonctionnement en moteur**

Lors du fonctionnement du barrage, les machines synchrones peuvent à certains moments être utilisées en moteurs synchrones.

On suppose que la réactance synchrone  $X_s$  d'un enroulement est  $X_s = 1,2 \Omega$ .

Le moteur est alimenté par un réseau  $3500 \text{ V}$ . La valeur de l'intensité efficace du courant de ligne vaut  $1650 \text{ A}$ . Dans un enroulement du stator, le courant est en retard par rapport à la tension, et on a un facteur de puissance  $\cos \varphi = 0,8$ .

I-B-1 Calculer les puissances active  $P$  et réactive  $Q$  absorbées.

I-B-2 Calculer les pertes par effet Joule dans le stator.

I-B-3 On néglige les pertes par effet Joule dans le rotor. Les pertes autres que par effet Joule dans le stator valent  $150 \text{ kW}$ .

Calculer la puissance utile  $P_u$  de ce moteur. En déduire le rendement,  $\eta$  du moteur.

### **I-C Réglage du facteur de puissance:**

On veut obtenir maintenant un fonctionnement tel que  $\cos \varphi = 1$ . L'intensité efficace du courant en ligne vaut toujours  $1650 \text{ A}$ . Pour cela on règle le courant d'excitation  $I_{ex}$ .

I-C-1 En négligeant, la résistance  $R$  de l'enroulement, représenter le modèle équivalent d'une phase du moteur.

I-C-2 Tracer l'allure du diagramme de Fresnel correspondant à ce fonctionnement ( $\cos \varphi = 1$ ).

I-C-3 Déterminer la valeur de la f.é.m., graphiquement ou par le calcul, et en déduire la valeur du courant d'excitation nécessaire.

## Problème II : Étude d'un moteur turbo-Diesel (8 Points)

Un moteur fonctionne selon un cycle Diesel ; alimenté par de l'air à la pression atmosphérique ce moteur a un rendement thermodynamique de 0,558, il développe une puissance de 48 kW lorsqu'il tourne à 2400 tr/min.

Le but de ce problème est d'étudier les apports de la suralimentation (moteur turbo) sur ce moteur Diesel. Le fonctionnement d'un moteur turbo-Diesel est schématisé sur la figure 1.

L'air est tout d'abord envoyé dans un compresseur qui le comprime jusqu'à la pression dite de suralimentation ; il est transféré dans les cylindres du moteur. Ce compresseur est actionné par une turbine, elle-même entraînée par les gaz d'échappement du moteur. Le cycle de fonctionnement du moteur est alors celui de la figure 2 et est composé des transformations suivantes :

- compression adiabatique réversible amenant le gaz de l'état 1 à l'état 2 ;
- combustion isobare de l'état 2 à l'état 3 ;
- détente adiabatique réversible amenant le gaz de l'état 3 à l'état 4 ;
- refroidissement isochore ramenant le système dans son état initial.

Ce cycle correspond à 2 tours de vilebrequin du moteur.

La pression de suralimentation  $P_1$  est égale à  $1,6 \cdot 10^5$  Pa, la température  $T_1$  vaut 323 K et le volume  $V_1$  est de 2,1 litres.

Le rapport volumétrique de compression  $a = \frac{V_1}{V_2}$  égal à 15 et le rapport d'injection  $b = \frac{V_3}{V_2}$  égal à 3.

II-1 Calculer le nombre de moles  $n$  décrivant le cycle.

II-2 Calculer les volumes  $V_2$  et  $V_3$ .

II-3 Montrer que la température  $T_2$  est égale à 954 K. En déduire  $T_3$ ,  
la température  $T_4$  est 1504 K.

II-4 Calculer la quantité de chaleur  $Q$  reçue par le gaz au cours de chaque transformation.

II-5 Donner l'énoncé du premier principe de la thermodynamique pour un cycle.

En déduire le travail  $W$  reçu par le gaz au cours du cycle. Justifier son signe.

II-6 Donner la définition, puis calculer le rendement thermodynamique  $\eta_{th}$  du cycle.

Comparer à la valeur donnée pour le moteur non turbo-compressé. Conclusion.

II-7 Calculer la puissance  $P$  fournie par le moteur lorsqu'il tourne à 2400 tr/min. Comparer à la valeur donnée pour le moteur non turbo-compressé. Conclusion.

Données :

\* Constante des gaz parfaits  $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

\*  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4$

\* Chaleur molaire à volume constant  $C_v = 20,8 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

\* On rappelle que pour une transformation adiabatique  $T \cdot V^{(\gamma-1)} = \text{constante}$ .

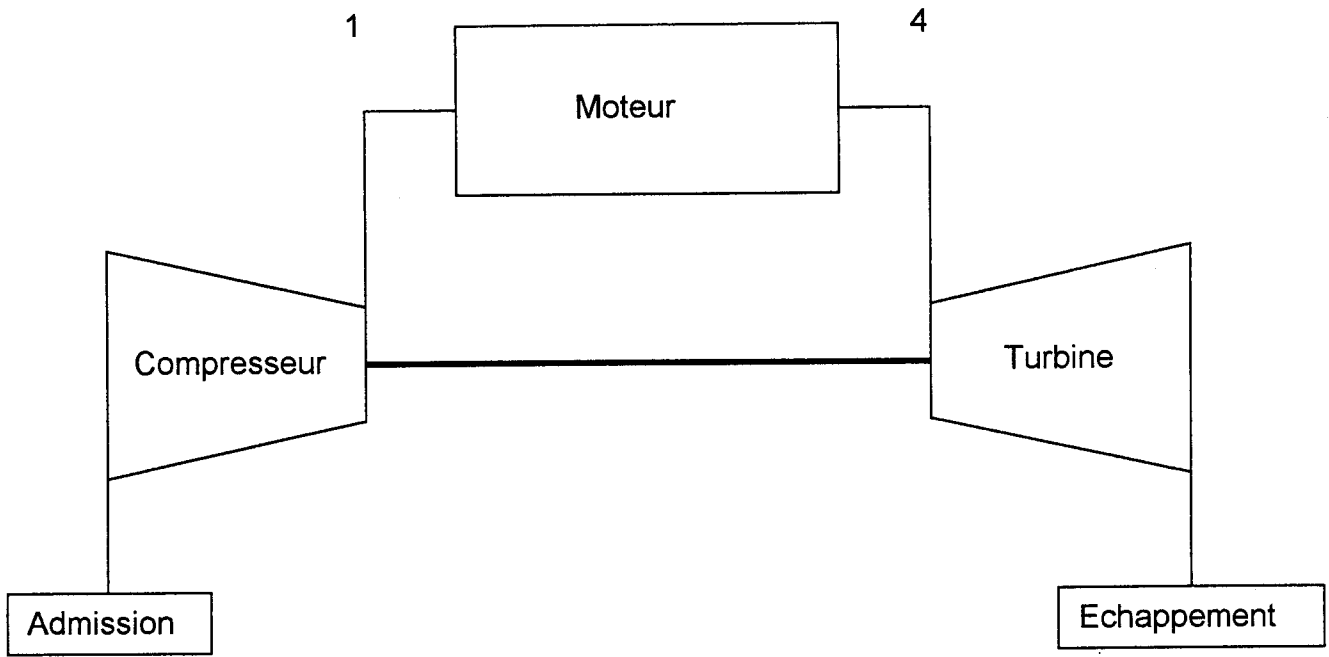


Figure 1

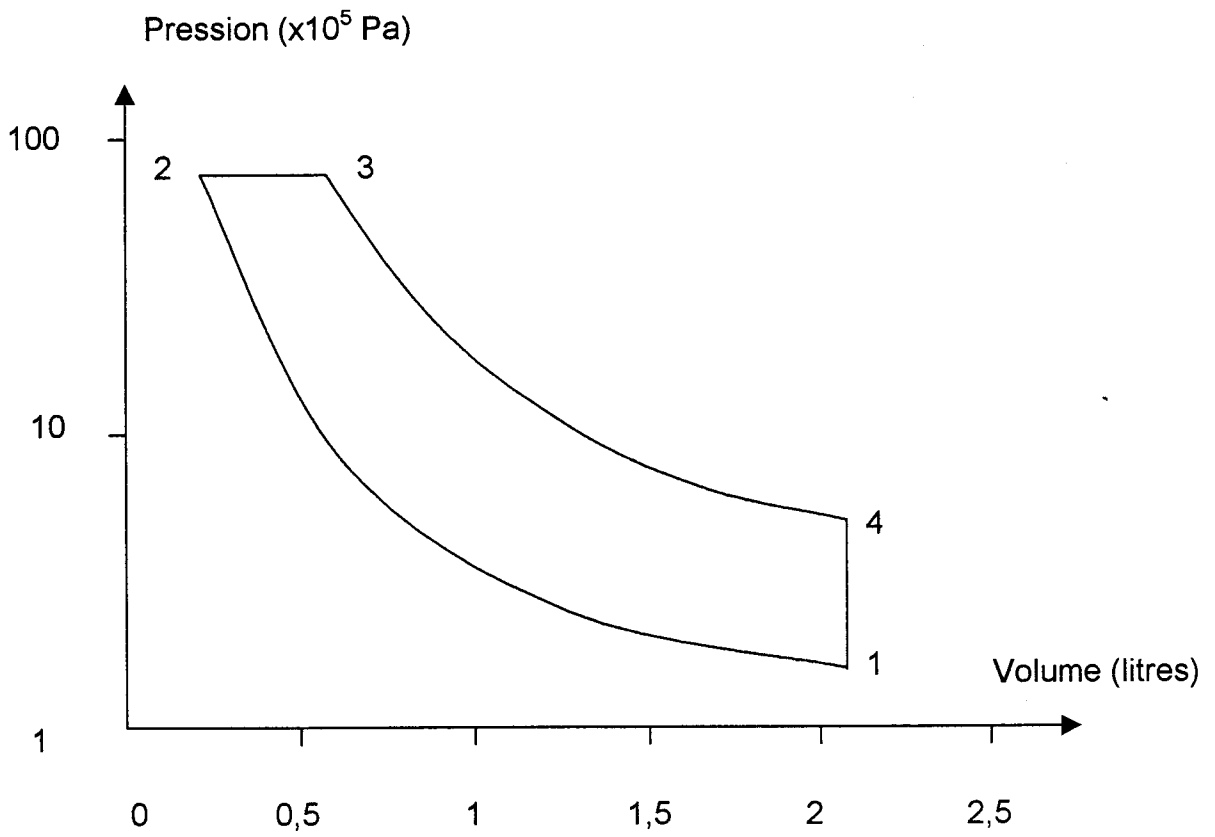


Figure 2