

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
MAINTENANCE INDUSTRIELLE

ÉPREUVE : SCIENCES PHYSIQUES

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

L'usage des calculatrices est autorisé.

IMPORTANT : Ce sujet comporte 6 pages numérotées de 1 à 6 + la page de présentation,
(dont deux pages de document-réponse)
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.

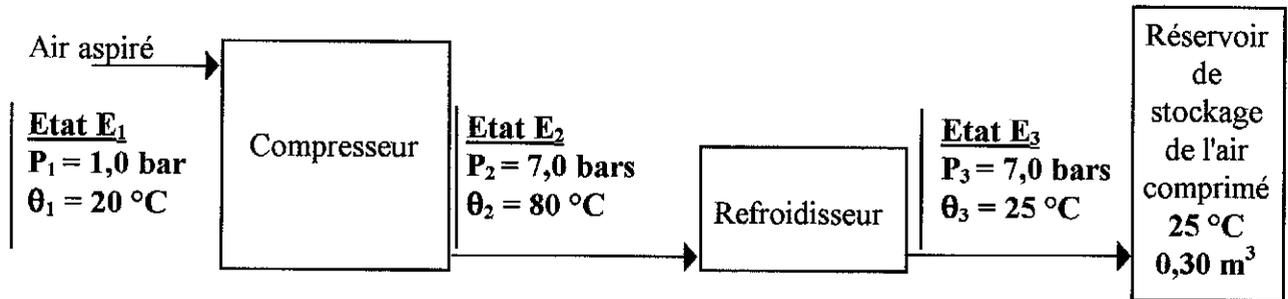
ETUDE D'UN SYSTEME DE DISTRIBUTION D'AIR COMPRIME

L'air ambiant est aspiré puis comprimé par un compresseur à vis, entraîné par un moteur asynchrone triphasé.

Après compression, l'air comprimé est refroidi par contact avec de l'huile, puis par ventilation d'air frais. En sortie du refroidisseur l'air comprimé froid est stocké dans un réservoir.

Rappels : 1 bar = 10^5 Pa (valeur exacte).

$$T(\text{K}) \simeq \theta (\text{°C}) + 273.$$



I-THERMODYNAMIQUE : (8 points)

On suppose que :

- le compresseur réalise une compression adiabatique de l'air ;
- le refroidisseur diminue la température de l'air à pression constante.

Dans tout le problème l'air est considéré comme un gaz parfait et il subit des transformations réversibles.

I.1 Représenter graphiquement dans le plan (P, V) l'allure :

- de la compression adiabatique réversible ;
- du refroidissement isobare.

Préciser sur le graphique le sens de chacune de ces deux transformations.

I.2 Calculer les volumes V_1 , V_2 , V_3 occupés par une mole d'air dans les états E_1 , E_2 , E_3 .

I.3 Calculer le travail W reçu par une mole d'air pour passer de l'état E_1 à l'état E_2 .

I.4 Calculer la quantité de chaleur Q reçue par une mole d'air pour passer de l'état E_2 à l'état E_3 .

I.5 L'air comprimé est refroidi de 80°C à 25°C en deux étapes :

- première étape : de 80°C à 40°C par de l'huile ;
- deuxième étape : de 40°C à 25°C par de l'air ambiant ventilé.

On s'intéresse uniquement à la seconde étape. L'air ambiant ventilé est pris à la température initiale de 20°C ; il est maintenu à pression constante ; sa température finale est 25°C .

On suppose que l'échange de chaleur ne s'effectue qu'entre l'air ambiant ventilé et l'air comprimé.

Calculer le nombre de moles d'air ambiant ventilé nécessaire au refroidissement d'une mole d'air comprimé à 7,0 bars.

I.6 En fonctionnement nominal du compresseur, le débit d'air comprimé à l'entrée du réservoir (7 bars , 25°C) est de $0,66\text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

On admet que le rendement du groupe moteur-compresseur est égal à 1. Le compresseur doit fournir un travail de $1,25\text{ kJ}$ pour comprimer une mole de gaz à la pression de 7 bars.

Déterminer la puissance du moteur nécessaire pour entraîner le compresseur.

Données :

- Constante des gaz parfaits : $R = 8,32\text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$;
- Capacité thermique molaire à pression constante : $C_p = 29,1\text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;
- $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4$.

Formulaire :

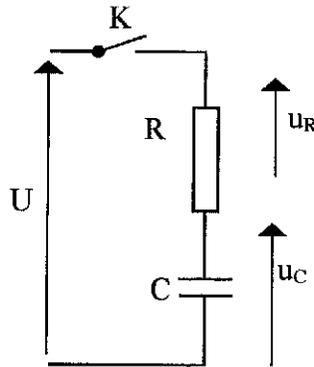
On rappelle que le travail reçu par un système thermodynamique lors d'une transformation adiabatique réversible pour passer de l'état A à l'état B, peut être déterminé par la relation suivante :

$$W_{A \rightarrow B} = \frac{1}{\gamma - 1} (P_B V_B - P_A V_A)$$

II-REGIMES TRANSITOIRES : (5 points)

II.1 Etude de la charge d'un condensateur :

On considère le montage suivant :



II.1.1 Etablir l'équation différentielle que vérifie la tension u_C aux bornes du condensateur quand l'interrupteur K est fermé.

II.1.2 En utilisant l'équation différentielle, justifier que le produit $R.C$ est homogène à un temps. Quel nom donne-t-on à ce produit $R.C$?

II.1.3 Le condensateur étant initialement déchargé, on ferme l'interrupteur K à l'instant $t = 0$. La solution de cette équation est alors :

$$u_C(t) = U \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

A l'aide de la courbe $u_C = f(t)$ représentée sur la figure 1 du document-réponse, déterminer :

- la valeur de la tension d'alimentation U ;
- la valeur du produit RC .

Présenter sur le document réponse les tracés nécessaires à ces déterminations.

II.2 Analogie entre le remplissage du réservoir de stockage et la charge d'un condensateur :

Au démarrage du compresseur la pression dans le réservoir de stockage est égale à la pression atmosphérique P_{atm} .

On suit l'évolution de la pression relative P_r de l'air comprimé dans le réservoir. Elle est définie par : $P_r = P - P_{atm}$.

On vérifie expérimentalement que la loi de l'établissement de la pression relative P_r dans le réservoir au cours du temps correspond à un modèle du premier ordre, analogue à la charge du condensateur étudiée précédemment. L'équation correspondante est donc de la forme :

$$P_r = P_{rf} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) ; \quad \text{les paramètres } P_{rf} \text{ et } \tau \text{ sont indépendants du temps } t.$$

La courbe obtenue expérimentalement est fournie en figure 2 sur le document-réponse.

II.2.1 A l'aide de cette courbe, déterminer les valeurs numériques de P_{rf} et de τ . Présenter sur le document-réponse les tracés nécessaires à ces déterminations .

II.2.2 Quel est le temps t nécessaire au remplissage du réservoir de stockage en air comprimé à 5,7 bars ?

III Etude du moteur entraînant le compresseur :

Le moteur équipant le compresseur est un moteur asynchrone triphasé. Les indications relevées sur la plaque signalétique du moteur sont les suivantes :

230 V / 400 V-50 Hz ; 20,4 A / 11,7 A ; $P_u = 5,5$ kW ; $n_n = 2880$ tr/min ; $\cos \varphi = 0,80$.

Le moteur est alimenté par un réseau triphasé de tension composée $U = 400$ V et de fréquence 50 Hz.

III.1 Régime nominal du moteur :

III.1.1 Quel doit être le couplage des enroulements statoriques du moteur ?

III.1.2 Déterminer la vitesse de synchronisme du moteur, puis calculer le glissement nominal du moteur.

III.1.3 Calculer la puissance nominale absorbée par le moteur.

III.1.4 En déduire le rendement du moteur.

III.1.5 Déterminer le moment du couple utile T_{un} .

III.2 Fonctionnement du groupe moteur-compresseur :

La pression d'air comprimé délivré par le compresseur est réglable. Cette pression est réglée en contrôlant mécaniquement, à l'aide de clapets, le débit d'air ambiant à l'entrée du compresseur.

Le compresseur exerce un couple résistant T_r , qui dépend de la fréquence n de rotation.

La figure 3 du document-réponse donne les caractéristiques mécaniques $T_r = f(n)$ du compresseur pour différentes valeurs de la pression d'air comprimé.

III.2.1 Tracer sur la figure 3 du document-réponse, la partie linéaire de la courbe représentative du couple utile T_u du moteur asynchrone en fonction de n .

III.2.2 Déterminer la fréquence de rotation du moteur n_1 et le couple utile moteur T_{u1} pour un réglage de la pression d'air comprimé à 7 bars.

III.2.3 En déduire la puissance utile délivrée par le moteur au point de fonctionnement ($n_1 ; T_{u1}$).

DOCUMENT-REPONSE

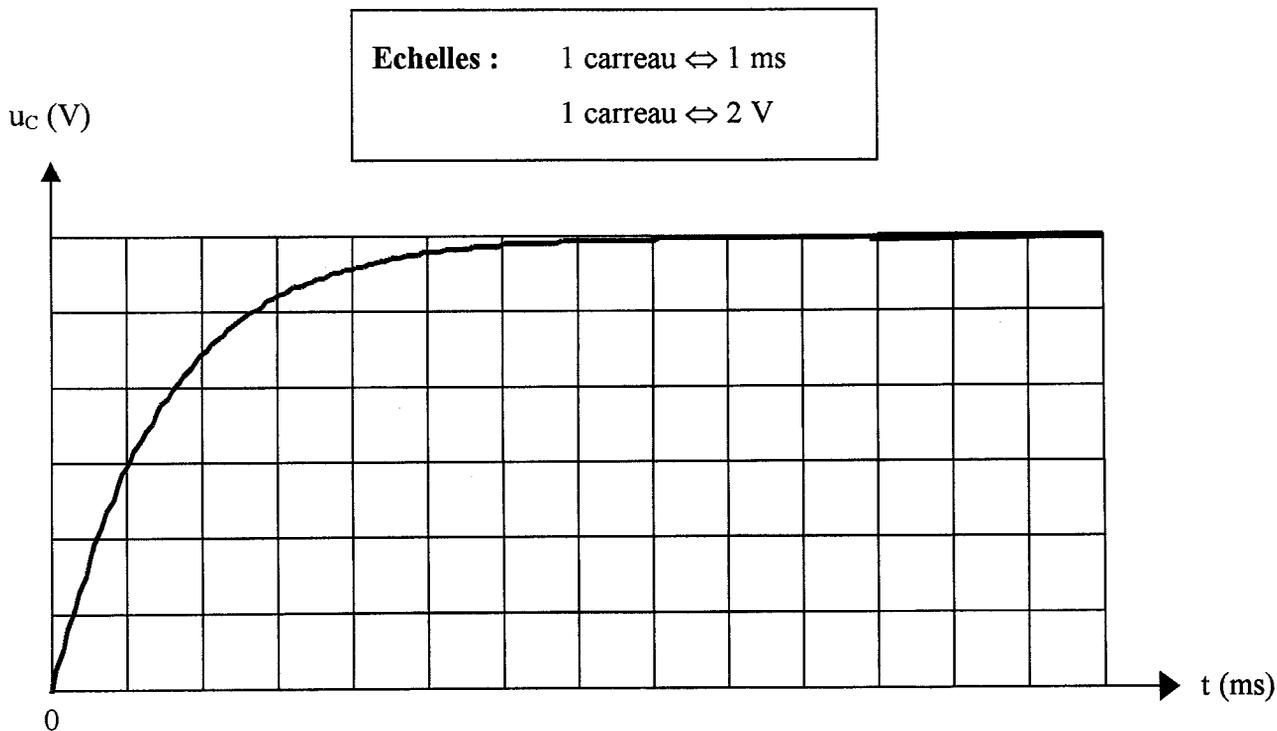


Figure 1 : Courbe représentative de l'établissement de la tension u_C aux bornes du condensateur $u_C = f(t)$.

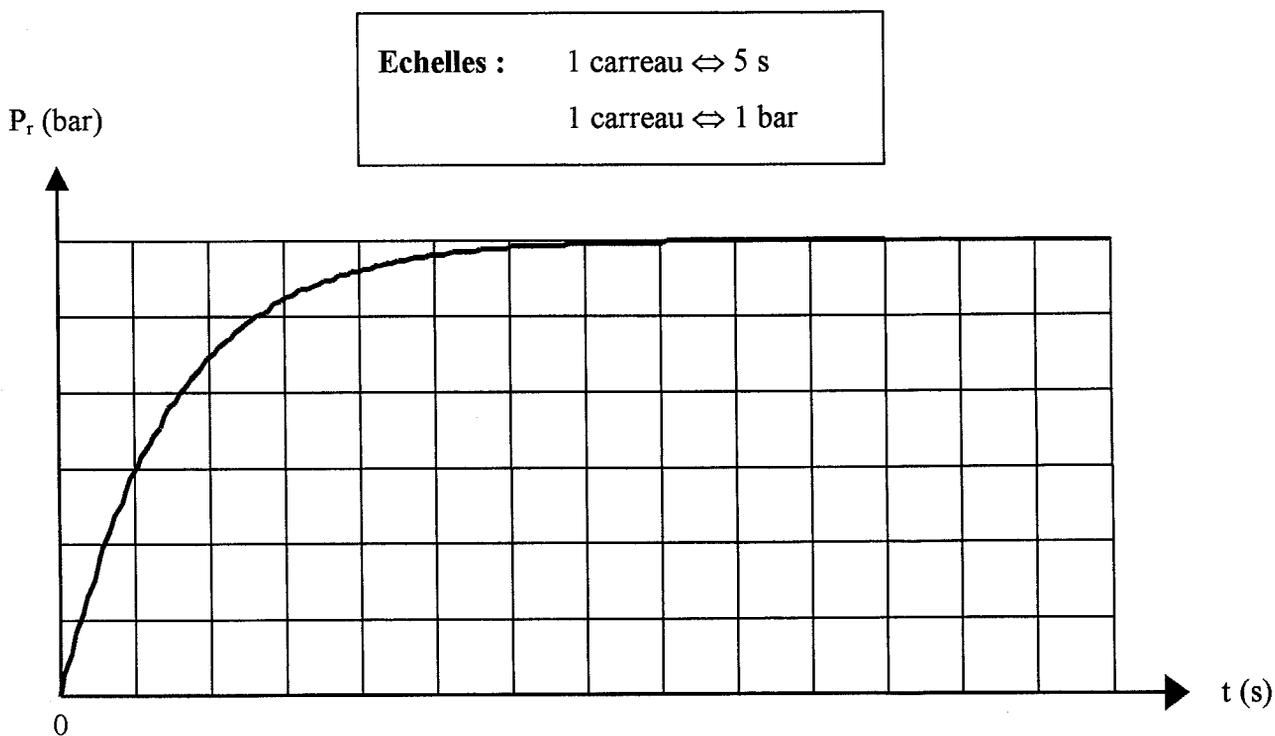


Figure 2 : Courbe représentative de l'établissement de la pression relative P_r dans le réservoir $P_r = f(t)$.

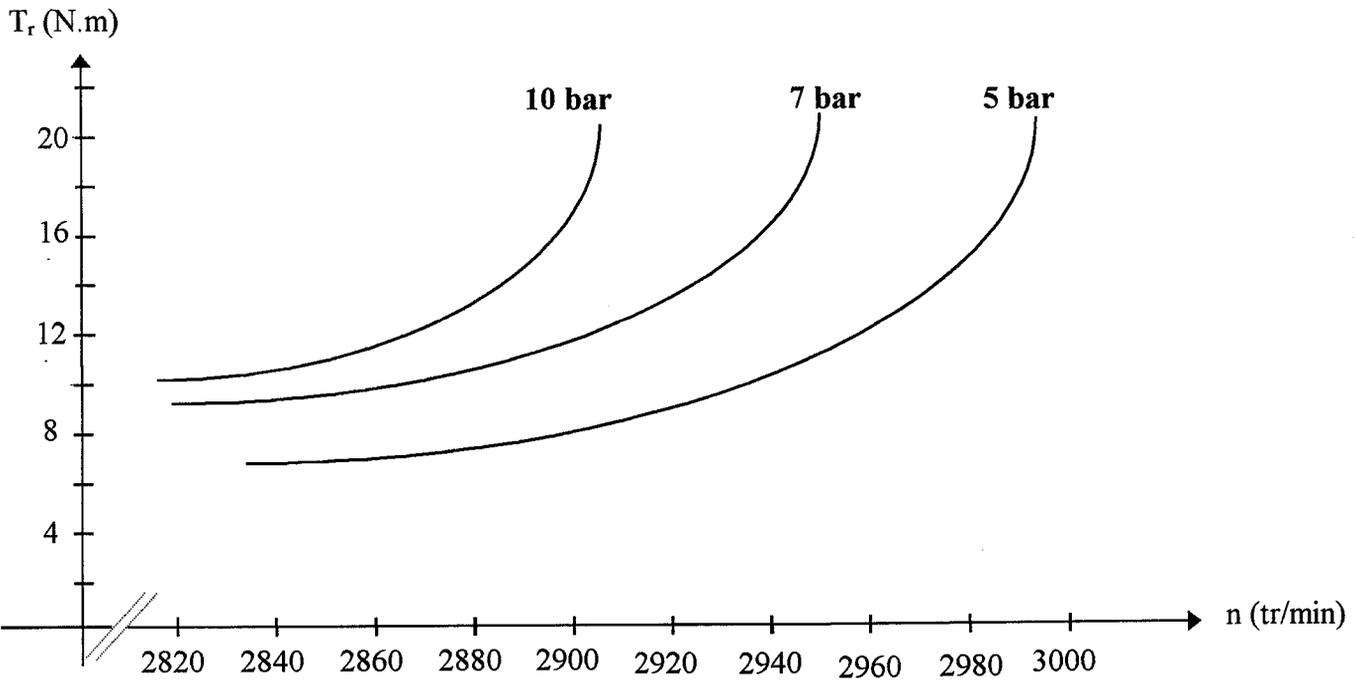


Figure 3 : Courbes représentatives de $T_r = f(n)$, pour différentes valeurs de pression d'air comprimé.