TA - C **2009**

ÉPREUVE DE PHYSIQUE

Durée 2 heures - Coefficient 1

Il sera tenu compte de la rigueur des explications et du soin apporté à leur présentation.

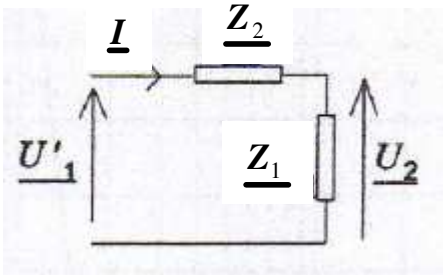
L'usage d'une calculatrice est autorisé pour cette épreuve.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

ELECTRICITE : Etude d'un quadripôle (6 points)

Soit le montage n° 1 ci-dessous pour lequel toutes les tensions sont alternatives sinusoïdales :

Montage n° 1



$\underline{Z_1}$ et $\underline{Z_2}$ sont des impédances complexes, $\underline{U_1'}$ et $\underline{U_2}$ des tensions complexes modélisant des tensions alternatives sinusoïdales et $\underline{I}$ une intensité complexe.

1. Etablir l'expression suivante : $\underline{U_2} = \dfrac{\underline{Z_1}}{\underline{Z_1} + \underline{Z_2}} \underline{U_1'}$.

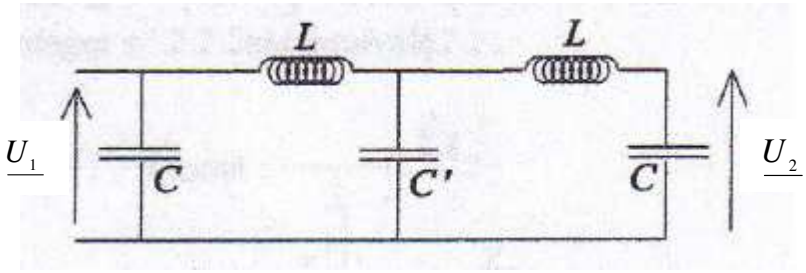
2. Soit le cas où $\underline{Z_1}$ est une résistance R = 1,00 kΩ et $\underline{Z_2}$ une inductance L = 10,0 mH branchée en série avec un condensateur C = 1,00 µF. La valeur efficace de $\underline{U_1'}$ est constante et égale à 6,00 V mais sa fréquence est réglable.

2.1 Montrer que la valeur efficace de $\underline{U_2}$ est maximale pour une pulsation $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ (résonance).

2.2 Application numérique : calculer la fréquence de résonance f_0 correspondante.

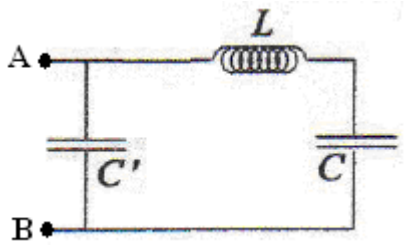
3. On étudie maintenant le montage n° 2 ci-dessous, où $\underline{U_1}$ et $\underline{U_2}$ sont des tensions complexes modélisant des tensions alternatives sinusoïdales de fréquence f :

Montage n° 2



3.1 Déterminer l'impédance complexe $\underline{Z'}$ entre les bornes A et B du dipôle représenté sur le montage n° 3.

Montage n° 3



3.2 Montrer que, pour le montage n° 2, $\underline{U_2}$ et $\underline{U_1}$ vérifient la relation suivante :

$$\underline{U_2} = \frac{\underline{U_1}}{1 - L\omega^2 (C' + 2C) + L^2 CC' \omega^4}$$

3.3 Ecrire la condition pour laquelle il y a résonance. En déduire les expressions des deux fréquences de résonance f_1 et f_2 correspondantes. Application numérique.
On donne : L = 10,0 mH, C = 1,00 µF et C' = 300 nF.

<u>MECANIQUE</u> : **Etude du mouvement d'un tracteur (4 points)**

On étudie un tracteur à 4 roues motrices d'une masse totale M = 2,0 tonnes. Son centre d'inertie est situé au point G du tracteur à mi-distance des roues avant et arrière (voir **annexe 1**, **à rendre avec la copie**).

Afin de préparer le sol sableux de son champ, un agriculteur utilise une charrue qui lui permet de retourner la terre sur 20 cm de profondeur. Celui-ci enfonce la charrue dans le sol et commence à avancer. Sur la charrue le sol exerce une force de frottement de la forme $\vec{F} = - k \vec{v}$ où $\vec{v}$ est la vitesse de la charrue. De plus les quatre roues du tracteur exercent une force motrice globale constante $\vec{T}$.

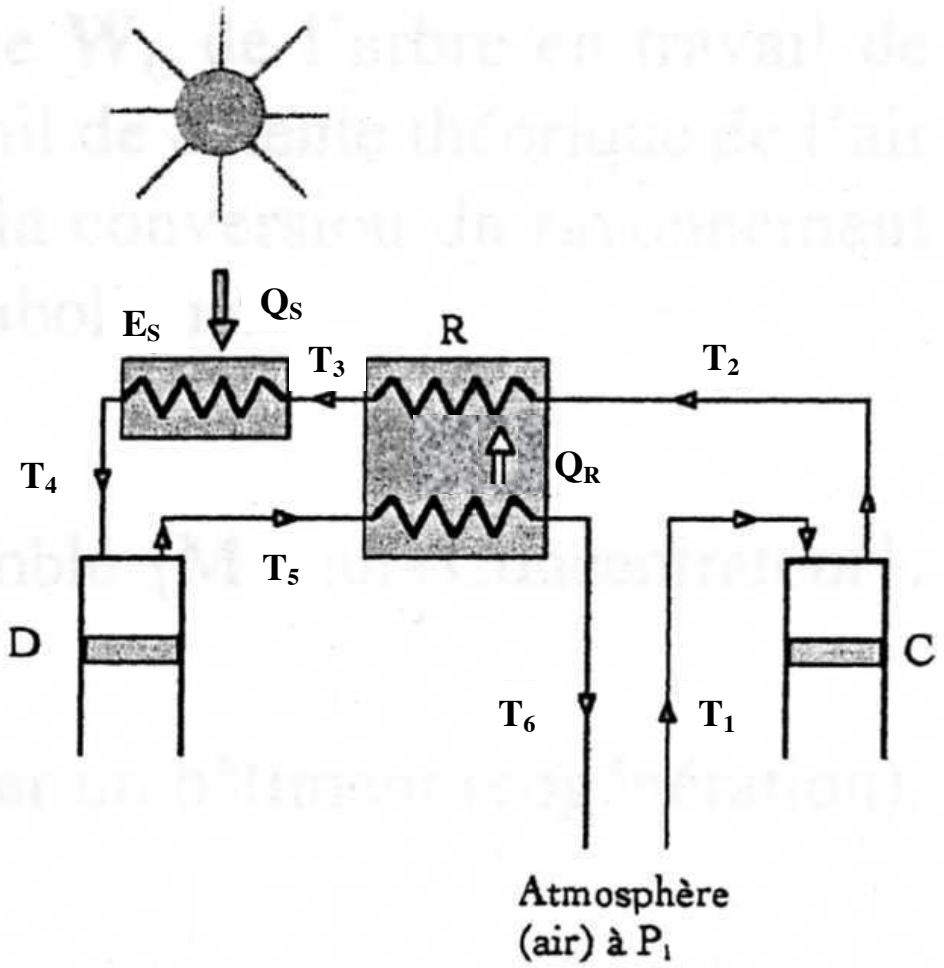
1. Faire le bilan des forces extérieures appliquées au système [tracteur + charrue] et les représenter sur **l'annexe 1**.
2. En appliquant la deuxième loi de Newton, établir l'équation régissant la vitesse du système.
3. Intégrer l'équation précédente pour en déduire l'expression de la vitesse v(t) du système en fonction de M, k, et T avec v(0) = 0. Tracer l'allure de la courbe représentative de v(t).
4. Etablir l'expression de v_l, vitesse limite du système, en fonction de k et de T.
5. Exprimer la durée t' nécessaire pour que le système atteigne 90 % de sa vitesse maximale. Calculer t'. Donnée : k = 1,5 × 10^3 kg.s^{-1}.

<u>THERMODYNAMIQUE</u> : **Moteur solaire et machine d'Ericsson (10 points)**

Le principe du dispositif est de produire de l'électricité à l'aide d'un moteur Ericsson couplé à un alternateur.

Le moteur est alimenté en énergie par l'intermédiaire d'un échangeur solaire (concentrateur cylindro-parabolique) chargé de chauffer l'air alimentant le moteur.

Ce dispositif peut permettre la mise en place d'une cogénération puisqu'il libère de l'air chaud qui peut être utilisé pour chauffer un bâtiment.



Fonctionnement du moteur :

De l'air (supposé gaz parfait diatomique) décrit le cycle suivant :

- Aspiration dans le cylindre de compression C de volume V_C à la température $T_1 = 288$ K et à la pression $P_1 = 1{,}00 \times 10^5$ Pa.
- Compression isentropique jusqu'à la température T_2 et à la pression P_2.
- Echauffement isobare (Q_R) jusqu'à la température T_3 à travers le récupérateur R.
- Echauffement isobare (Q_S) dans l'échangeur solaire E_S jusqu'à la température T_4.
- Détente isentropique dans le cylindre D qui ramène l'air à la pression P_1 et à la température T_5, pour un volume V_D.
- Refroidissement isobare dans le récupérateur où il cède la chaleur - Q_R et atteint la température T_6.
- Libération dans l'atmosphère et retour à la température T_1.

Caractéristiques :

- Air : $\gamma = 1{,}4$; $\overline{M}_{air} = 29{,}0$ g.mol^{-1}
- Moteur : Volume du cylindre de compression : $V_C = 0{,}149$ L.
  Volume du cylindre de détente : $V_D = 0{,}337$ L.

Régime moteur : $N = 3\,000$ tr.min^{-1}.

Taux de compression : $\beta = \dfrac{P_2}{P_1} = 3{,}4$.

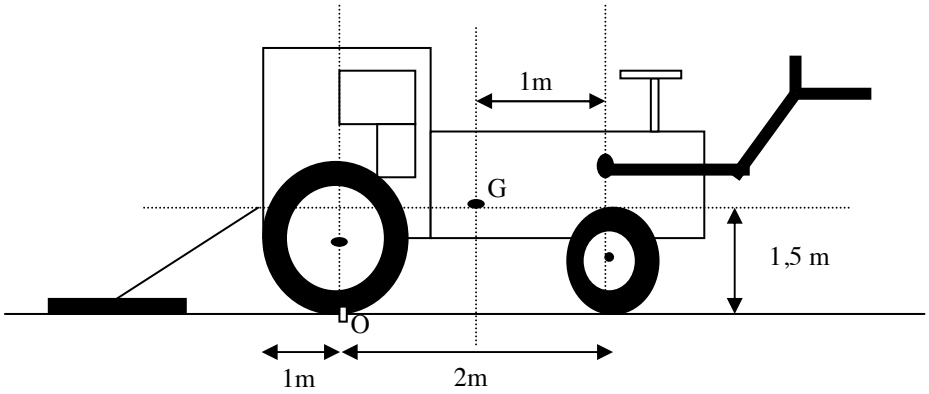
Débit d'air : $\dot{m} = 9{,}0$ g.s^{-1}.

- Récupérateur : Il sera considéré parfait, c'est à dire qu'il transfère sans pertes $\dot{Q}_R = 1\,750$ W en régime permanent.
- Echangeur solaire : Puissance extraite du rayonnement solaire $\dot{Q}_S$.

Données : $R = 8{,}314$ J.K^{-1}.mol^{-1} Relation de Mayer : $C_P - C_V = nR$ $\gamma = \dfrac{C_P}{C_V}$

N.B. : on note $\dot{Q} = \left(\dfrac{\delta Q}{\delta t}\right)$ les puissances associées aux différentes quantités de chaleur. On peut généraliser la notation $\dot{Q}$ à $\dot{m}$ et $\dot{W}$.

Questions

1. Calculer la période τ d'un cycle thermodynamique et la quantité de matière n_{air} aspirée à chaque cycle. Retrouver alors la valeur du débit d'air $\dot{m}$ donnée dans « **Caractéristiques** ».
2. Exprimer puis calculer les températures, pressions et volumes des différents points du cycle thermodynamique en fonction de n_{air}, β, P_1, V_C, V_D, T_1, $\dot{Q}_R$, τ et γ. On regroupera les résultats dans un tableau.
3. Représenter le cycle thermodynamique en diagramme de Clapeyron avec l'échelle suivante : En abscisses : 2 cm représentent 0,100 L. En ordonnées : 4 cm représentent $1{,}00 \times 10^5$ Pa.
4. On note Q_{atm} la quantité de chaleur rendue à l'atmosphère en fin de cycle. Exprimer $\dot{Q}_{atm}$, $\dot{Q}_S$ puis $\dot{W}_{cycle}$. Applications numériques.
5. Etablir le diagramme des échanges énergétiques représentant les flux thermiques et mécaniques entrant et sortant du système. Puis définir et exprimer l'efficacité du moteur d'Ericsson en fonction des températures. Application numérique.
6. Plus fondamentalement, seuls les travaux de compression et de détente sont transformés en travail mécanique : $W_{méca} = W_{1\to2} + W_{4\to5}$. D'autre part, le système doit être considéré comme ouvert. Dans ces conditions pour une transformation isentropique on a $W = \Delta H$ (et non ΔU) car il faut prendre en compte le travail d'écoulement du fluide.
   Exprimer dans ce cas $\dot{W}_{méca}$ en fonction de n_{air}, γ et des températures. Application numérique.
7. **Ecart à la théorie**. Il existe des pertes mécaniques (dues aux frottements) au niveau des deux cylindres ainsi que des pertes au niveau du concentrateur cylindro- parabolique.
   Soit η_C le rendement de la conversion du travail mécanique théorique W_C de l'arbre en travail de compression réelle de l'air $W_{1\to2}$.
   Soit η_D le rendement de la conversion du travail de détente théorique de l'air $W_{4\to5}$ en travail de détente réelle de l'arbre W_D.
   Soit η_{conc} le rendement de la conversion du rayonnement solaire Q en chaleur Q_S transmise à l'air par le concentrateur cylindro-parabolique.
   Données : $\eta_C = \eta_D = 0{,}90$ et $\eta_{conc} = 0{,}60$.
   En déduire la puissance réelle du moteur $\dot{W}'_{méca}$ puis l'efficacité e_{MC} de l'ensemble {Moteur + Concentrateur}. Applications numériques.
8. Si on considère maintenant que la chaleur Q_{atm} est récupérée pour chauffer un bâtiment (cogénération), calculer alors l'efficacité e_{co} du dispositif, rapport de l'ensemble des grandeurs d'intérêt (thermiques et mécaniques) sur la grandeur fournie.

Annexe 1 (A rendre avec la copie)