*Ce problème se compose de deux parties. La première étudie un moteur à explosion, la seconde un générateur de courant continu couplé au moteur thermique. Ces deux parties sont en large partie indépendante. Il faudra traiter les deux parties. On prendra bien soin de ne pas oublier les unités dans les applications numériques.*

# 1 Etude d'un moteur à explosion

## 1.1 Généralités

On considère un moteur thermique fonctionnant entre deux réservoirs de température $\mathcal{R}_0$ et $\mathcal{R}_1$, de température respective $T_0$ et $T_1$ telles que $T_1 > T_0$.

1. **En justifiant clairement les hypothèses et les principes physiques utilisés**, montrer que le rendement $r$ du moteur vérifie l'inégalité :
$$r \leq 1 - \frac{T_0}{T_1}$$
2. Quel est le rendement théorique maximum du moteur ? Quelles sont les conditions dans lesquelles ce rendement est atteint ?

## 1.2 Cycle d'un moteur Diesel

Dans cette partie est proposé un modèle du moteur Diesel. Le système du gaz (air considéré comme gaz parfait) contenu dans le piston subit une transformation cyclique représentée dans le diagramme de Clapeyron de la figure 1.2. On y voit 4

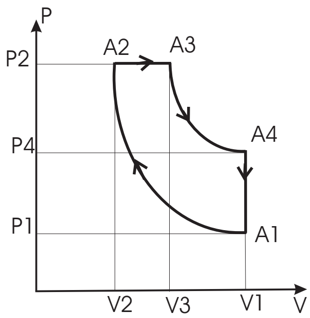


FIG. 1 – Diagramme de Clapeyron d'un moteur Diesel

transformations successives :

1. $A_1A_2$ : compression adiabatique réversible de l'air.
2. $A_2A_3$ : injection de carburant et combustion à pression constante.
3. $A_3A_4$ : détente adiabatique réversible
4. $A_4A_1$ : détente isochore immédiate.

La quantité de carburant injecté est faible devant la quantité d'air dans le cylindre. On néglige donc les variations de nombre de moles pendant la combustion. L'air est un gaz parfait. On considère qu'il y a une mole de gaz parfait dans le cylindre. La capacité thermique molaire de l'air est $c_p \sim 30$ J( K. mol). Le rapport $\gamma \sim 1,5$. La pression initiale est la pression atmosphérique $P_1 = 10^5$ Pa et $T_1 \sim 330$ K.Le rapport volumétrique de compression est $(V_1/V_2) = 14$ En fin de combustion la température $T_3$ est de $T_3 \sim 2300$ K. La température $T_1$ est $T_1 \sim 330$ K.

1. Caractériser complètement les 4 états du gaz $(A_1, A2, A_3, A_4)$.
2. Pour chaque transformation $i \rightarrow j$, calculer littéralement puis numériquement la quantité de chaleur $Q_{ij}$ échangée par le gaz.
3. Calculer littéralement puis numériquement le travail fourni par le gaz sur un cycle.
4. Calculer littéralement puis numériquement le rendement de ce moteur. Le comparer au rendement de Carnot que ce moteur aurait s'il était idéal. Donner une interprétation de la différence entre ces deux rendements.

# 2 Générateur de courant

On considère un disque métallique de rayon $a$, plongé dans un champ magnétique constant $\overrightarrow{\mathbf{B}_0}$, pouvant tourner autour de son axe $\Omega$, comme schématisé sur la figure 2. Un système de contacts électriques glissants permet de coupler la roue à un circuit électrique. Un des contacts est sur l'axe, l'autre sur le bord du disque en un point $A$. Le moteur thermique étudié dans la partie précédente est couplé au disque et permet de le faire tourner à la vitesse angulaire constante $\omega_0$.

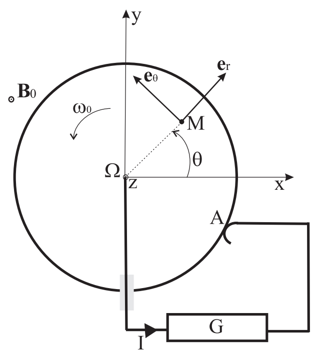


Fig. 2 – Roue de Barlow

## 2.1 Champ électromoteur

**Rappels :** On considère une particule matérielle se déplaçant à la vitesse $\overrightarrow{\mathbf{V}_{R_0}}$ par rapport au référentiel $\mathcal{R}_0$ dans lequel règnent un champ électrique $\overrightarrow{\mathbf{E}_0}$ et un champ magnétique $\overrightarrow{\mathbf{B}_0}$. Dans le référentiel $\mathcal{R}_1$ dans lequel la particule possède une vitesse nulle (on dit que $\mathcal{R}_1$ est le référentiel de la particule), règnent un champ électrique $\overrightarrow{\mathbf{E}_1}$ et un champ magnétique $\overrightarrow{\mathbf{B}_1}$. On a alors :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{\mathbf{E}_1} &= \overrightarrow{\mathbf{V}_{R_0}} \Lambda \overrightarrow{\mathbf{B}_0} + \overrightarrow{\mathbf{E}_0} \\ \overrightarrow{\mathbf{B}_1} &= \overrightarrow{\mathbf{B}_0} \end{aligned}$$

Si le champ $\overrightarrow{\mathbf{E}_0}$ est nul, la particule voit donc dans son référentiel le champ électrique :

$$\overrightarrow{\mathbf{E}_1} = \overrightarrow{\mathbf{V}_{R_0}} \Lambda \overrightarrow{\mathbf{B}_0}$$

appelé champ électromoteur.

1. Exprimer le vecteur vitesse $\overrightarrow{\mathbf{V}_{R_0}}(M)$ d'un point $M$ du disque, situé à la distance $r$ du centre $\Omega$ en fonction de $\omega_0$, $r$ et du vecteur de la base cylindrique $\overrightarrow{\mathbf{e}_\theta}$.
2. En déduire l'expression de la différence de potentiel $V_\Omega - V_A$ apparaissant entre les deux points du circuit électrique $\Omega$ et $A$ en fonction de $\omega_0$, $a$, $\overrightarrow{\mathbf{B}_0}$
3. Retrouver ce résultat en utilisant la loi de Faraday avec le flux coupé, en prenant bien soin de définir correctement les orientations des vecteurs utilisés.

## 2.2 Application électro-mécanique

On branche maintenant les deux points $\Omega$ et $A$ sur un circuit électrique schématisé par une résistance $G$ comme sur la figure 2.

1. Exprimer le courant $I$ qui parcourt le circuit en fonction de $\omega_0$, $a$, $\overrightarrow{\mathbf{B}_0}$ et $G$.
2. Exprimer la puissance électrique $P_e$ dissipée dans le circuit électrique en fonction de $\omega_0$, $a$, $\overrightarrow{\mathbf{B}_0}$ et $G$.
3. On veut que le circuit électrique (système d'éclairage par exemple) dissipe une puissance utile de $P_u = 1$ kW. Exprimer la vitesse angulaire $\omega_u$ à laquelle doit tourner le disque en fonction de $a$, $\overrightarrow{\mathbf{B}_0}$ et $G$. En déduire le nombre de tours par seconde $N_r$ que fait la roue. Faire l'application numérique. On prendra :

$$a = 10 \text{ cm} \quad B_0 = 1 \text{ T} \quad G = 1\ \Omega$$

4. La rotation du disque est assurée par le moteur thermique étudié dans la partie précédente. En supposant que toute l'énergie mécanique du moteur (travail) est convertie en énergie électrique, calculer la vitesse angulaire $\omega_m$ à laquelle doit tourner le moteur. En déduire le nombre de tours par seconde $N_m$ que le moteur doit effectuer. (On considèrera qu'un tour de moteur équivaut à un cycle décrit dans la figure 1.2)
5. Par quel système mécanique doit on coupler le moteur à la roue (les deux n'ayant pas la même vitesse de rotation) ?
6. En utilisant le rendement du moteur, calculer la puissance thermique $P_t$ nécessaire au fonctionnement du générateur électrique.
7. Un litre de carburant dégage une chaleur $Q_0$ de l'ordre de $Q_0 \sim 40$ kJ. Calculer la consommation horaire de carburant du moteur dans ces conditions d'utilisations.

Fin