

La Prépa des INP

Session 2025-2026

Épreuve commune de physique

Durée : 3 heures

Remarques

- ☐ Le sujet comporte 3 *parties distinctes de 1 heure* qu'il conviendra de rédiger sur 3 *copies différentes*.
 - ☐ Les documents ne sont pas autorisés pour cette épreuve.
 - ☐ Seules les calculatrices de type collège sont autorisées pour cette épreuve.
 - ☐ Chacune des parties aura un poids équivalent dans la notation.
 - ☐ il sera tenu compte de la rédaction des copies : il est en particulier recommandé d'encadrer les résultats.
 - ☐ Si un étudiant relève dans l'énoncé ce qui lui semble être une erreur, il indique clairement sur sa copie les initiatives prises pour continuer.
-

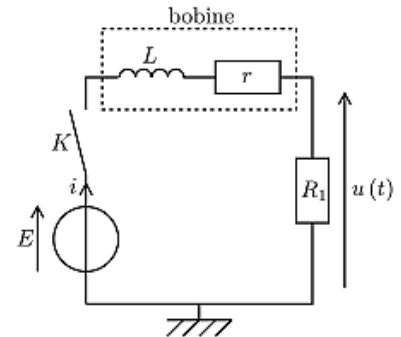
PARTIE A : ELECTRICITE (1H)

Bobine Réelle.

L'objectif de l'exercice est la détermination des paramètres (inductance et résistance interne) d'une bobine réelle à l'aide de courbes obtenues expérimentalement.

I. En régime transitoire

On réalise le circuit électrique représenté ci-contre comprenant un générateur idéal de tension de f.é.m. $E = 10 \text{ V}$, une bobine de résistance r et d'inductance L et une résistance $R_1 = 100 \Omega$ montés en série. Un système d'acquisition (non représenté sur le schéma) permet de suivre l'évolution de la tension $u(t)$ dans le circuit en fonction du temps. La fermeture de l'interrupteur à l'instant $t = 0$ déclenche l'acquisition. L'enregistrement obtenu est représenté sur la figure 1 en annexe.



- 1) Établir pour $t > 0$, l'équation différentielle à laquelle obéit $i(t)$. Faire apparaître dans sa forme canonique une constante de temps τ .
- 2) Établir l'expression du courant $i(t)$ au cours du temps (pour $t \geq 0$). Exprimer, à partir de cette expression, $\lim_{t \rightarrow \infty} i(t)$.
- 3) Expliquer comment on peut avoir accès aux valeurs de $i(t)$ avec la figure 1.
- 4) Déterminer à partir du graphe de la figure 1, la valeur de l'intensité du courant i en régime permanent.
- 5) Déterminer graphiquement la valeur de τ en en faisant figurer la méthode utilisée sur le graphe de la figure 1.
- 6) En déduire les valeurs de L et r .
- 7) Exprimer la puissance instantanée absorbée par chacun des dipôles. Faire un bilan de ces puissances lors de l'établissement du courant.

II. En régime sinusoïdal

Notation :

A une grandeur sinusoïdale $x(t) = X \cos(\omega t + \phi)$ on

associe la grandeur complexe : $\underline{x}(t) = X e^{j(\omega t + \phi)}$

avec X : amplitude de $x(t)$, ω : pulsation de $x(t)$

et ϕ : phase à l'origine de $x(t)$.

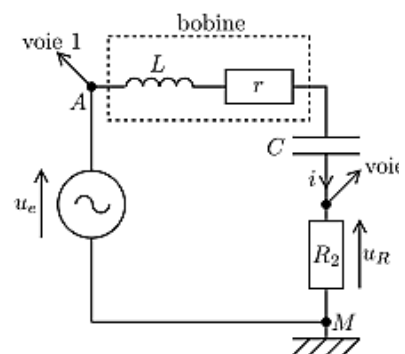
On place, en série avec la bobine, un résistor de résistance

$R_2 = 50 \Omega$ et un condensateur de capacité $C = 20 \mu\text{F}$. Le GBF

(générateur basses fréquences) est réglé pour délivrer une tension sinusoïdale :

$$u_e(t) = U_e \cos(\omega t)$$

Deux tensions sont visualisées sur un oscilloscope numérique. On obtient un oscillogramme équivalent au graphe de la figure 2 en annexe :



- 1) Déterminer les valeurs numériques de la fréquence f des signaux, de l'amplitude U_e de la tension $u_e(t)$ et de l'amplitude U_R de la tension $u_R(t)$.
- 2) Déterminer la valeur numérique de l'amplitude I du courant $i(t)$ tel que :

$$i(t) = I \cdot \cos(\omega t + \varphi_i) .$$
- 3) Rappeler l'expression générale de l'impédance réelle Z d'un dipôle quelconque passif linéaire (module de l'impédance complexe $\underline{Z}$) traversé par un courant $i(t)$ et ayant à ses bornes une tension $u(t)$, en fonction de leurs amplitudes I et U respectives. Déterminer alors la valeur numérique de l'impédance Z_{AM} du dipôle AM, à l'aide des signaux du graphique (figure 2).
- 4) Des deux tensions, $u_R(t)$ et $u_e(t)$, laquelle, et pourquoi d'après l'oscillogramme, est en avance sur l'autre ?
- 5) Déterminer précisément, à partir de l'oscillogramme, le déphasage $\varphi = \varphi_{u_e} - \varphi_i$ exprimé en radians.
- 6) Écrire l'expression générale de l'impédance complexe $\underline{Z}_{AM}$ en fonction de r , R_2 , L , C , ω .
- 7) Écrire l'expression de l'impédance complexe $\underline{Z}_{AM}$ en fonction de son module Z_{AM} et du déphasage φ . On s'aidera des expressions complexes du $u_e(t)$ et de $i(t)$. Donner alors sa forme trigonométrique en fonction de Z_{AM} et du déphasage φ .
- 8) Exprimer r en fonction de R_2 , Z_{AM} et φ . Calculer sa valeur.
- 9) Exprimer L en fonction de C , ω , Z_{AM} et φ . Calculer sa valeur.
- 10) Exprimer littéralement les tensions $u_L(t)$ et $u_C(t)$, respectivement aux bornes de l'inductance L et du condensateur C , en fonction de L , C , ω , I et φ . Effectuer les applications numériques.

Annexe Partie A (à restituer avec la copie)

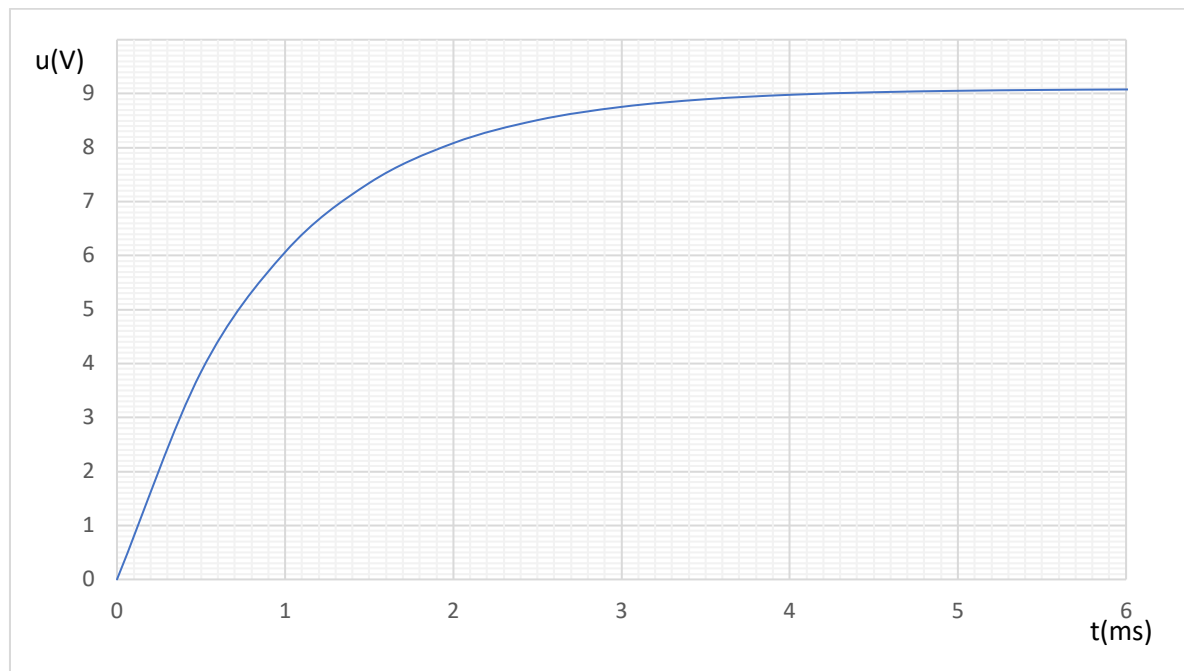


Figure 1

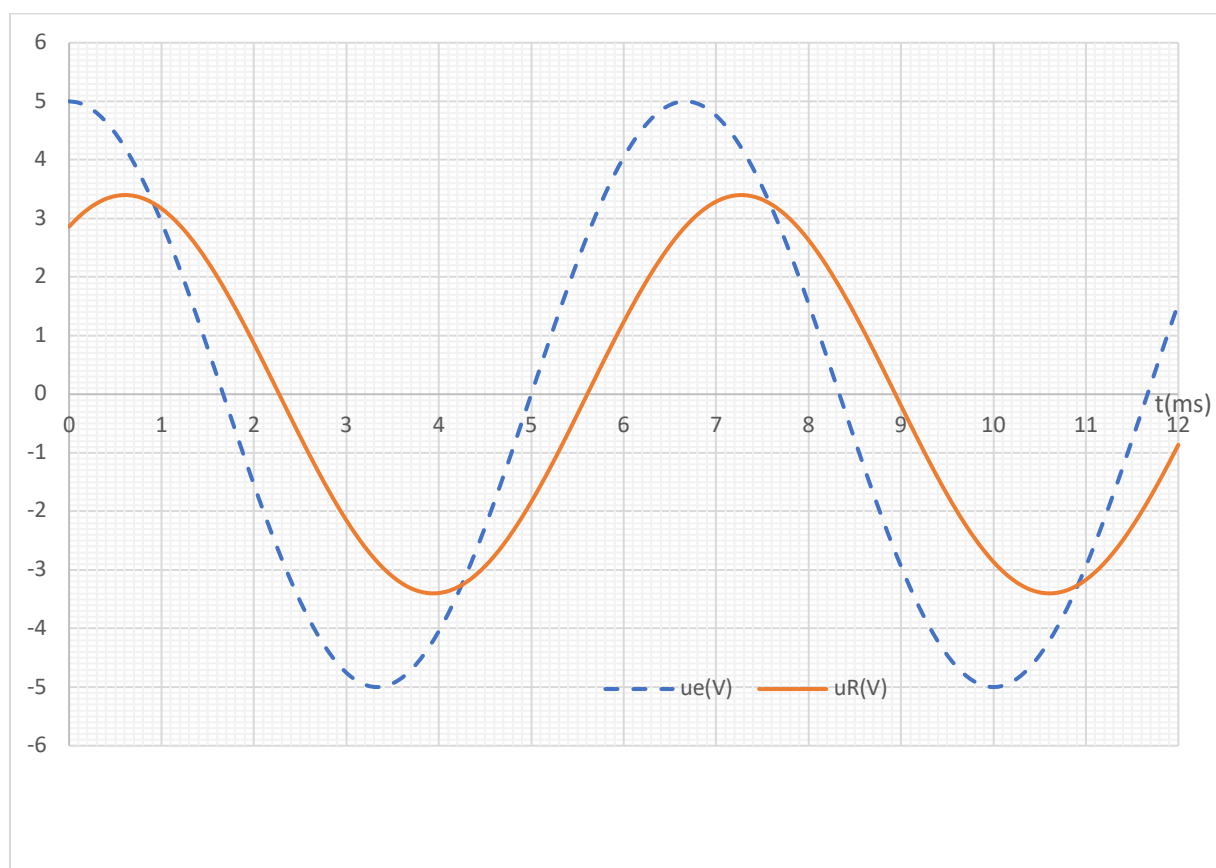


Figure 2

NOM :

PARTIE B : OPTIQUE GEOMETRIQUE ET MECANIQUE (1H)

I. OPTIQUE GEOMETRIQUE (30min)

Microscope optique

Un microscope peut être modélisé par deux lentilles minces convergentes (L_1) et (L_2) alignées sur le même axe optique :

(L_1) de centre O_1 modélise l'objectif et possède une distance focale image $f'_1 = 5,0 \text{ mm}$

(L_2) de centre O_2 modélise l'oculaire et possède une distance focale image $f'_2 = 40,0 \text{ mm}$

La distance Δ entre le foyer image F'_1 de (L_1) et le foyer objet F_2 de (L_2) vaut $\Delta = 145,0 \text{ mm}$. On rappelle que la distance minimale de vision distincte d'un œil normal vaut $d_m = 25 \text{ cm}$. C'est la plus petite distance entre l'œil et un objet pour laquelle on peut voir l'objet net (limite d'accommodation : objet au Punctum Proximum : PP).

D'autre part, un œil normal voit net sans accommoder si l'objet est à l'infini (Punctum Remotum : PR).

On observe au microscope un petit objet AB , A étant placé sur l'axe optique et AB perpendiculaire à l'axe optique. L'œil est placé sur l'axe optique après l'oculaire.

La figure 3 en annexe illustre une observation de AB à travers le microscope sans accommodation (image finale $A'B'$ placée au PR de l'œil). La figure n'est pas à l'échelle.

On s'intéresse dans cet exercice à la position de l'objet par rapport à l'objectif.

On rappelle les relations de conjugaison d'une lentille et l'expression du grandissement γ :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \quad , \quad \overline{F'A'} \cdot \overline{FA} = -f'^2 \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

1. Les relations précédentes sont valables à condition que les rayons lumineux satisfassent les conditions de Gauss. Donner ces 2 conditions.

2. Sur la figure 3, retrouver par construction la position de l'objet AB à partir de deux rayons lumineux parallèles émergeant du microscope par (L_2). Faire apparaître l'image intermédiaire A_1B_1 .

3. A quelle distance d de L_1 (exprimée en fonction f'_1 et Δ) doit être placé A dans les conditions d'observation de la figure 3 ? Calculer d .

4. Le grossissement commercial du microscope est défini par $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ ou α est l'angle (non

algébrique) sous lequel serait vu l'objet à l'œil nu placé à une distance d_m et l'angle α' (non algébrique, voir figure 3) sous lequel est observée l'image finale à travers le microscope.

L'objet étant de très petite taille, ces deux angles seront bien sûr très faibles. Exprimer G en fonction de Δ , d_m , f'_1 et f'_2 puis calculer sa valeur.

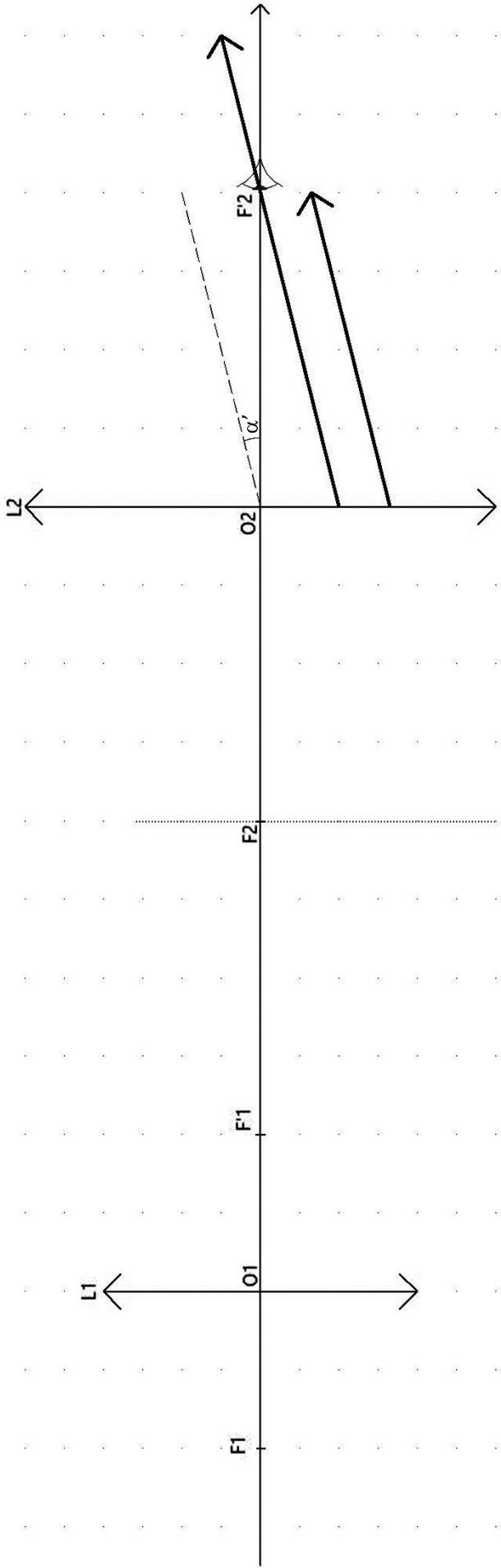


Figure 3

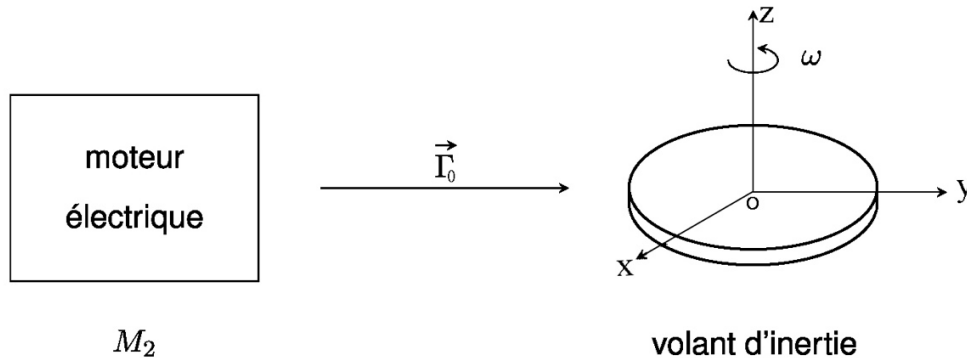
NOM :

II. MECANIQUE DU SOLIDE (30 min)

Récupération de l'énergie au freinage.

Il s'agit d'étudier un volant d'inertie intégré à un véhicule, capable de récupérer l'énergie pendant la phase de freinage et de la restituer pendant la phase d'accélération.

Lors du freinage l'énergie est récupérée de manière mécanique et convertie en énergie électrique. Cette dernière est utilisée pour alimenter un moteur électrique M_2 qui lance le volant d'inertie à une vitesse pouvant aller jusqu'à $60000 \text{ tr.min}^{-1}$ au maximum. L'action de M_2 est modélisée par un couple moteur de moment $\vec{\Gamma}_0$.



Ainsi l'énergie cinétique du véhicule est stockée sous forme d'énergie cinétique de rotation (volant d'inertie en rotation autour de son axe). Le volant tourne en roue libre autour de son axe en attendant la phase de restitution demandée par le pilote.

Le volant sera modélisé par un disque homogène de centre O , de masse m , de rayon R de masse surfacique σ en rotation par rapport à l'axe de symétrie de révolution $\Delta = (O, \vec{e}_z)$.

1. Établir que le moment d'inertie d'un disque de masse m , de rayon R par rapport son centre O est donné par : $J_O = \frac{1}{2} m R^2$.

Cette expression ne sera utilisée que pour le traitement de la phase 2

Phase 1 : Mise en rotation du volant

On suppose que l'ensemble des forces de frottement fluides subies par le volant peut être représenté par un moment par rapport au centre O du volant : $\vec{M}_O = -k\omega\vec{e}_z$, où k est une constante positive et $\vec{\omega} = \omega\vec{e}_z$ le vecteur rotation du volant.

2. Initialement immobile, le volant est soumis à partir de l'instant $t = 0$ à l'action du couple moteur de moment $\vec{\Gamma}_0 = \Gamma_0\vec{e}_z$, avec Γ_0 constant.

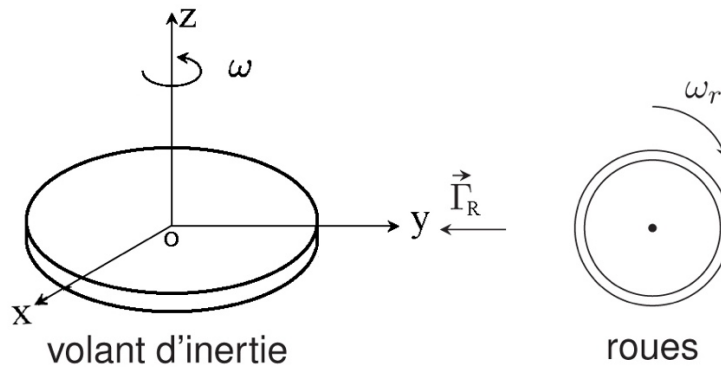
a/ Déterminer l'équation du mouvement du volant vérifiée par $\omega(t)$. Faire apparaître dans sa forme canonique une constante de temps τ .

b/ En résolvant cette équation, analyser le mouvement du volant en identifiant d'abord la vitesse angulaire ω_0 atteinte en régime permanent, puis le temps de relaxation τ_∞ du système correspondant à un écart relatif entre ω et ω_0 inférieur à 1 %. Vous exprimerez τ_∞ en fonction de τ .

Phase 2 : Restitution de l'énergie

Le moteur M_2 est découplé du volant d'inertie. Ce dernier transfère ensuite son énergie cinétique de rotation aux roues et à la Formule 1.

Dans les questions 3 à 5, seul un couple résistif $\vec{\Gamma}_R = -\gamma\vec{e}_z$ constant s'appliquera au disque. Il modélise les frottements et la charge.



3. Exprimer la durée d'arrêt Δt du disque pour une vitesse de rotation initiale ω_0 , en fonction de J_O , ω_0 et γ . Vérifier la dimension de Δt en effectuant une analyse dimensionnelle.
4. En déduire le nombre N de tours effectués par le disque avant l'arrêt en fonction de J_O , ω_0 et γ .

On considère un volant d'inertie de rayon $R = 20 \text{ cm}$, de masse $m = 100 \text{ kg}$, le couple résistif étant de l'ordre de $\gamma = 20 \text{ N.m}$. On considère que sa vitesse de rotation initiale vaut $60000 \text{ tr.min}^{-1}$.

5. Évaluer numériquement (en tr.min^{-1}) la vitesse de rotation ω'_0 du volant d'inertie après une durée de 8 min.

L'ensemble des quatre roues est modélisé par quatre disques homogènes de rayon $R_r = 33 \text{ cm}$ et de masse $m_r = 12 \text{ kg}$ chacun en rotation à la vitesse angulaire ω_r .

On considère que la Formule 1 se déplace à une vitesse v de 200 km.h^{-1} , en supposant que les roues roulent sans glissement.

6. En utilisant la condition de roulement sans glissement, exprimer puis calculer la vitesse angulaire ω_r des roues.

Les pertes seront prises en compte en considérant une vitesse initiale de rotation du volant d'inertie qui vaut seulement $\omega_0 = 5000 \text{ tr.min}^{-1}$ au début de la restitution d'énergie. L'ensemble {Formule 1 + pilote} possède une masse $M = 800 \text{ kg}$. En considérant que l'énergie cinétique de rotation du volant d'inertie sert à augmenter la vitesse de rotation des quatre roues et à augmenter la vitesse de la Formule 1 jusqu'à une nouvelle valeur v' , on établit que la variation

du carré de la vitesse $\Delta v^2 = v'^2 - v^2$ est donnée par
$$\Delta v^2 = \frac{mR^2\omega_0^2}{2(M + 2m_r)}$$

7. Quelle nouvelle vitesse v' peut-on espérer atteindre alors ? Effectuer l'application numérique . Commenter.

PARTIE C : THERMODYNAMIQUE (1H)

Étude d'un moteur Diesel suralimenté, quatre temps.

Présentation du moteur :

Dans un moteur thermique, un piston se déplace dans un cylindre entre deux positions extrêmes : le point mort haut (noté *PMH*) et le point mort bas (noté *PMB*). Le volume balayé s'appelle la cylindrée (notée C_v). Ainsi pour un moteur classique, le volume varie donc entre une valeur maximale V_1 et une valeur minimale V_2 ; on a donc : $V_1 - V_2 = C_v$.

Le fonctionnement d'un moteur est défini par son rapport volumétrique de compression, noté δ , et ainsi défini: $\delta = V_1/V_2$.

Pour un moteur Diesel, le piston comprime simplement l'air aspiré : le carburant n'est alors injecté qu'en fin de compression. La température de l'air en fin de compression étant élevée, il y a auto-combustion du carburant.

Le moteur étudié fonctionne suivant le cycle mixte ou « de Sabathé », suralimenté, représenté ci-dessous dans le diagramme de Clapeyron, et ainsi défini :

0-1 : admission *isobare* de l'air

1 : fermeture soupape d'admission.

1-2 : compression *adiabatique*

2 : injection de carburant : début de la combustion

2-3 : apport de chaleur *isochore* puis

3-4 : apport de chaleur *isobare*

4-5 : détente *adiabatique*

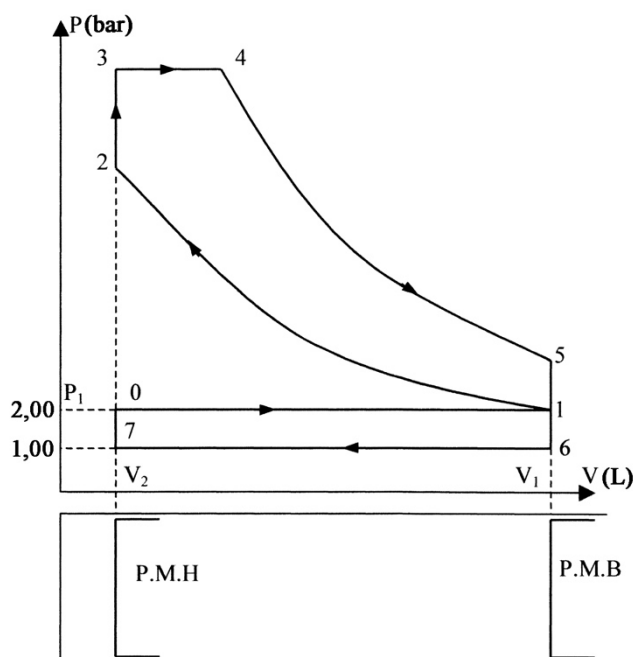
5 : ouverture soupape d'échappement

5-6 : échappement

6-7 : balayage *isobare* (refoulement)

7 : fermeture soupape d'échappement et ouverture soupape d'admission.

7-0 : augmentation instantanée de pression (évolution *isochore*).



Hypothèses générales :

Le fluide gazeux (air, puis produits de combustion) en évolution dans le moteur est assimilé à un même gaz parfait défini par ses capacités thermiques massique à volume et pression constante respectivement c_v et c_p .

Toutes les évolutions sont supposées quasi-statiques et réversibles.

On supposera que, lors de la combustion 2-3-4 les variations de T sont les mêmes que si, en l'absence de réaction chimique, le fluide (gaz parfait) contenu dans le cylindre recevait, en partie à volume constant (évolution 2-3), puis en partie à pression constante (évolution 3-4), une chaleur égale à la « chaleur dégagée » par la combustion.

Notations :

M_t : masse d'air comprimé dans le cylindre au cours de l'évolution 1-2, et occupant en 1, le volume V_1 , à la température T_1 , sous la pression P_1 .

M_c : masse de carburant injectée lors de la combustion 2-3-4.

On ne prendra pas en compte la variation de masse ainsi que la nature du fluide gazeux subissant le cycle et on notera n_t sa quantité de matière.

Définitions :

Le Pouvoir calorifique inférieur du carburant, noté P_{ci} est la quantité de chaleur « dégagée » par la combustion stoechiométrique, par kilogramme de carburant.

Données :

- $c_v = 760 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ la capacité thermique massique et $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1,38$
- $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ constante des gaz parfaits
- Cylindrée du moteur : $C_y = V_1 - V_2 = 2 \text{ litres}$
- Rapport volumétrique de compression : $\delta = V_1/V_2 = 14$.
- $P_{ci} = 41\,500 \text{ kJ.kg}^{-1}$
- Conditions d'admission dans le cylindre : $P_1 = 2,00 \text{ bars}$ et $T_1 = 340 \text{ K}$.

1 : Calculer, à partir des données de δ et C_y , les valeurs de V_1 et V_2 .

2: a/ A partir de l'état du gaz en 1, calculer la quantité de matière n_t d'air subissant le cycle, assimilé à un gaz parfait .

b/ Donner l'expression littérale de la capacité thermique à volume constant C_v de la quantité d'air subissant le cycle en fonction de sa masse M_t et de c_v .

On injecte une quantité de carburant $M_c = 0,28 \text{ g}$.

3 : En déduire la valeur de la quantité de chaleur « dégagée » lors de la combustion (notée Q_{co}).

Étude des évolutions en soupapes fermées 1-2-3-4-5

Hypothèses :

Pour la suite on prendra $Q_{co} = 11620 \text{ J}$. On suppose que 30% de la quantité de chaleur dégagée lors de la combustion sont reçus par les gaz lors de l'évolution isochore ($Q_{23} = 0,3 \times Q_{co}$) et que le reste est reçu lors de l'évolution isobare ($Q_{34} = 0,7 \times Q_{co}$).

4 : a/ Donner l'expression littérale de la pression puis sa valeur numérique au point 2 (P_2).

b/ Donner l'expression littérale de la température puis sa valeur numérique au point 2 (T_2)

Pour la suite on prendra la masse d'air $M_t = 4,4 \text{ g}$ et on ne tiendra pas compte de la masse du carburant M_c pour l'étude du cycle.

5 :a/ Préciser les valeurs numériques des quantités de chaleur fournies lors des évolutions 2-3 et 3-4.

b/ Donner la valeur numérique de la température et de la pression au point 3.

c/ Donner la valeur numérique de la température et de la pression au point 4.

d/ Donner la valeur numérique de V_4 et du rapport $\varepsilon = \frac{V_1}{V_4}$.

6 : a/ Donner l'expression littérale de la pression puis sa valeur numérique au point 5 (P_5).

b/ Donner l'expression littérale de la température puis sa valeur numérique au point 5 (T_5)

7 : Évaluer numériquement les travaux reçus par le fluide gazeux de la part du piston lors des évolutions 1-2, 2-3, 3-4 et 4-5 (notés W_{12} , W_{23} , W_{34} , et W_{45}).

Étude des évolutions de transvasement 6-7-0-1

8 : On suppose que le refoulement 6-7 se fait à la pression atmosphérique $P_a = 1,00 \text{ bar}$. Évaluer numériquement les travaux reçus par le fluide gazeux de la part du piston lors des évolutions 5-6, 6-7, 7-0, et 0-1 (notés W_{56} , W_{67} , W_{70} , W_{01}).

Étude globale du cycle.

9 : Évaluer numériquement le travail total W_{cycle} reçu par le fluide gazeux au cours d'un cycle. En déduire le rendement η_{th} de ce cycle après l'avoir défini.

10 : Pour un cycle de Diesel classique, on établit que le rendement vaut $\eta'_{th} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{\varepsilon^{-\gamma} - \delta^{-\gamma}}{\varepsilon^{-1} - \delta^{-1}}$

Conclure.