

EPREUVE OPTIONNELLE de PHYSIQUE

I- Thermodynamique

A- Préliminaires

1)- On considère un gaz parfait d'équation d'état $pV = nRT$, dont le rapport des capacités calorifiques molaires à pression et à volume constants : $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ est constant et indépendant de l'état du gaz.

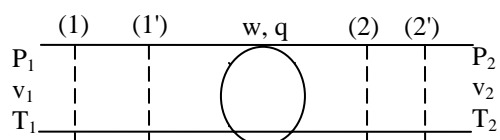
a)- La température de n moles de gaz variant de dT , déterminer :

- la variation d'énergie interne dU ;
- la variation d'enthalpie dH .

b)- En déduire la relation de Mayer, c'est à dire l'expression de $C_p - C_v$, puis l'expression de C_p et C_v en fonction de γ et de la constante molaire R des gaz parfaits. Pour les applications numériques, on prendra : $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}$

2)- Bilan sur un système ouvert :

On considère un fluide qui s'écoule en régime permanent à travers une machine M : chaque fois qu'une mole du



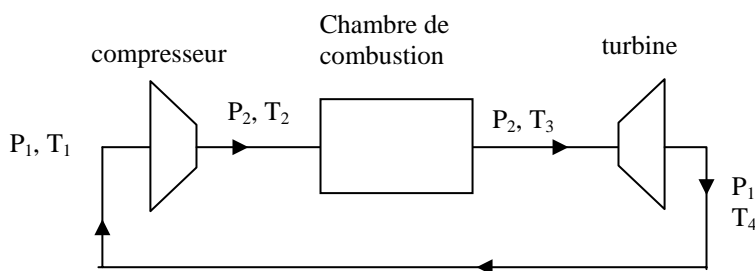
fluide traverse la machine, elle échange le travail w et la chaleur q avec celle-ci. On désigne par P et T la pression et la température du fluide, par u , h et v respectivement l'énergie interne, l'enthalpie et le volume relatifs à une mole du fluide, dont l'état est caractérisé par l'indice 1 en amont et 2 en aval.

On ferme fictivement le système par un piston (1) en amont et (2) en aval; lorsqu'une mole traverse la machine, le piston (1) vient en (1') et le piston (2) en (2').

En appliquant le premier principe, montrer que : $w + q = h_2 - h_1$ à condition de négliger l'énergie cinétique de mouvement d'ensemble du fluide.

B- Etude d'un turbopropulseur:

La plupart des avions à hélice, à part les petits avions de tourisme, sont entraînés par un moteur à turbo propulseur qui fonctionne suivant le schéma suivant :



l'air, considéré comme un gaz parfait pour lequel $\gamma = 1,4$, est admis sous la pression $P_1 = 1 \text{ bar}$ et à la température $T_1 = 298 \text{ K}$. Il est comprimé de manière adiabatique et réversible dans le compresseur, dont il sort à la pression $P_2 = 5 \text{ bars}$ et à la

température T_2 . Dans la chambre de combustion, il est chauffé à pression constante jusqu'à la température $T_3 = 1300 \text{ K}$; il est alors détendu de manière adiabatique et réversible dans une turbine jusqu'à la pression $P_4 = P_1$ et à la température T_4 , puis revient à l'état initial sous pression atmosphérique.

Une partie du travail disponible sur l'arbre de la turbine est prélevée pour actionner le compresseur.

1)- Calculer les températures T_2 et T_4 ainsi que les volumes molaires v_1 , v_2 , v_3 et v_4 à la sortie de chaque partie, et construire le cycle décrit par une mole d'air en coordonnées de Clapeyron.

2)- En désignant par s_1 l'entropie molaire de l'air admis, déterminer les entropies molaires s_2 , s_3 et s_4 , en prenant arbitrairement $s_1 = 0$; construire le cycle du fluide en coordonnées T, s (T en ordonnée, s en abscisse).

3)- Déterminer :

- a)- Le travail molaire w' échangé par le fluide avec le compresseur.
- b)- La chaleur q reçue par une mole du fluide dans la chambre de combustion.
- c)- Le travail molaire w'' échangé par le fluide avec la turbine.

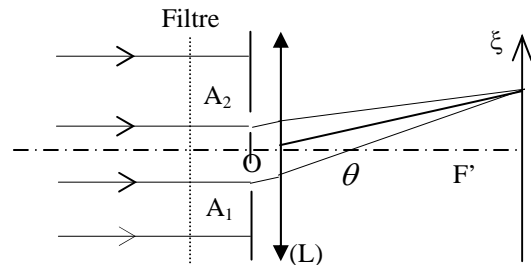
4)- En déduire, par mole de fluide, le travail w disponible sur l'arbre moteur, puis le rendement ρ du moteur.

5)- Le moteur développe une puissance de 700 kW: en déduire le débit massique d'air , sachant que l'air a une masse molaire $M = 29 \text{ g} \cdot \text{mole}^{-1}$

6)- Le chauffage dans la chambre de combustion est assuré par du kérosène de pouvoir calorifique de 42600 kJ/kg. En déduire la consommation de kérosène en kg par heure.

II- Optique

Une lunette astronomique a pour objectif une lentille convergente (L) de distance focale $f = 1 \text{ m}$. On pointe la lunette sur une étoile S_1 qui joue le rôle d'une source ponctuelle à l'infini sur l'axe optique du système. Un filtre approprié donnera une lumière monochromatique de longueur d'onde dans le vide λ .



Un filtre approprié donnera une lumière monochromatique de longueur d'onde dans le vide λ .

En avant de l'objectif et à courte distance de celui-ci, on place un cache percé de deux fentes identiques, parallèles, de largeur b , placées symétriquement par rapport à l'axe optique.

La figure est réalisée dans le plan méridien perpendiculaire aux deux fentes. Les milieux des fentes coupent ce plan en deux points A_1 et A_2 symétriques par rapport à l'axe et tels que $A_1A_2 = a$.

Dans le plan de figure, les fentes sont repérées par leur ordonnée y sur l'axe A_1A_2 , l'origine étant A_1 .

1)- On considère, sauf pour la dernière question, que la largeur de chaque fente est très petite, de telle sorte que l'on puisse considérer que chaque fente émet la même intensité lumineuse dans toutes les directions.

- a)- déterminer la différence de marche δ entre les deux ondes issues de A_1 et A_2 dans la direction θ . En déduire le déphasage φ entre les deux ondes dans la direction θ . Dans toute la suite du problème, θ est assez petit pour qu'on puisse le confondre avec son sinus et sa tangente.
- b)- En déduire l'intensité lumineuse au point M du plan focal de (L) en fonction de son ordonnée ξ prise par rapport à F' .
- c)- **Application numérique:** $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$; $b = 1 \text{ mm}$; $a = 1 \text{ cm}$; Tracer l'allure de la courbe $I = f(\xi)$. Déterminer l'interfrange.

2)- On a maintenant deux étoiles S_1 et S_2 , ponctuelles et à l'infini dans les directions $\frac{\varepsilon}{2}$ et $-\frac{\varepsilon}{2}$ par rapport à l'axe. Ces deux étoiles sont supposées envoyer sur le dispositif deux ondes monochromatiques de même amplitude et même longueur d'onde λ , mais incohérentes entre elles. L'angle ε est très petit.

a)- Déterminer l'intensité lumineuse arrivant au point M d'ordonnée ξ dans le plan focal de (L).

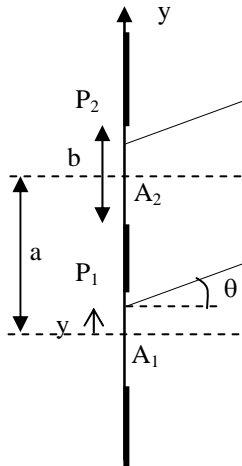
b)- Calculer la visibilité (ou contraste), définie par : $V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$

c)- Quelle est la plus petite valeur de a pour laquelle il y a brouillage des franges.

d)- On donne $\varepsilon = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ rd}$. Calculer la plus petite valeur de a pour obtenir le brouillage des franges.

e)- Le pouvoir de résolution somme toute assez modeste envisagé ici laisse prévoir que, pour des pouvoirs de résolution plus élevés (ε plus faible), l'ordre de grandeur de a rend peu réaliste le modèle de dispositif décrit. On utilise en fait deux objectifs (un par fente), que l'on peut déplacer l'un par rapport à l'autre sur un rail. On trouve alors un premier brouillage pour $a = 1,2$ m. Quelle est alors la distance angulaire entre les deux composantes de l'étoile double ?

3)- On revient au cas où l'on a une seule source éclairant les deux fentes en incidence normale, mais on tient maintenant compte de la largeur b des deux fentes.



a)- On considère qu'une largeur dy de l'une ou l'autre des deux fentes émet une onde d'amplitude $\frac{A}{b} dy$ dans toutes les directions.

En se référant à l'onde émise au voisinage de A_1 , calculer les différences de marche δ_1 et δ_2 , puis les phases φ_1 et φ_2 des ondes émises par les largeurs dy des fentes, au voisinage des points P_1 et P_2 d'ordonnées respectives y et $y + a$ avec $y \in (-\frac{b}{2}, \frac{b}{2})$ dans la direction θ .

b)- En déduire l'amplitude complexe $d\alpha$ émise par les deux éléments dy voisins de P_1 et P_2 dans la direction θ . On l'exprimera en fonction de A , b , dy , φ_1 et $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$

c)- Déterminer l'amplitude α , puis l'intensité I diffractée par l'ensemble des deux fentes dans la direction θ . En déduire l'intensité I au point M du plan focal de (L) en fonction de son ordonnée ξ prise par rapport à F'_1 . On notera cette intensité:

$$I = I_0 \left(\frac{\sin u}{u} \right)^2 \cdot (1 + \cos \varphi) \text{ et on exprimera } I_0, u \text{ et } \varphi \text{ en fonction des données.}$$

d)- **Application numérique:** $b = 1$ mm ; pour le reste, on reprend les valeurs numériques de la première question. Tracer l'allure de la courbe $I = f(\xi)$. Le phénomène de diffraction gêne-t-il notablement l'observation des interférences ?