

Travail demandé

La copie doit être propre, lisible, sans faute d'orthographe (*pas trop*). Les pages doivent être numérotées et **les résultats soulignés ou encadrés**. Un résultat donné sans justification, à moins que l'énoncé le précise, est considéré comme faux.

Le devoir comporte 3 exercices indépendants **A RÉDIGER SUR DES COPIES SÉPARÉES**.

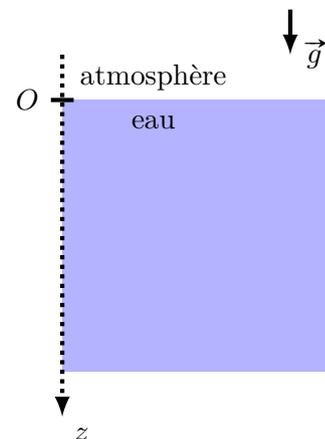
Ayez confiance en vous, vous savez faire plein de choses! Prenez votre temps à chaque question pour expliquer votre démarche.

La calculatrice est autorisée. Bon courage!

Plongée sous-marine

On étudie dans cet exercice les forces qui s'exercent sur un plongeur dans la mer. L'eau où évolue le plongeur est considérée comme un liquide homogène et incompressible de masse volumique $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{kg.m}^{-3}$, en équilibre dans un champ de pesanteur \vec{g} uniforme, avec $g = 9,81 \text{m.s}^{-2}$.

La surface libre de l'eau est à l'altitude $z = 0$ et en contact avec l'atmosphère de pression constante $P_{\text{atm}} = 1,013 \times 10^5 \text{Pa}$. On choisit un axe vertical descendant.



- Déterminer l'expression de $P[z]$, le champ de pression dans l'eau. Tracer le graphe de $P[z]$ pour z allant de 0m à 10m . On précisera les valeurs des pressions extrémales.

On assimile l'air contenu dans les poumons du plongeur à un gaz parfait ; cet air est caractérisé par une pression $P[z]$ identique à celle de l'eau à la même profondeur, un volume $V[z]$ (*capacité pulmonaire*) variable (*la cage thoracique se déforme sous l'effet de la pression*) et enfin par une température T , constante et indépendante de la profondeur.

- Exprimer la capacité pulmonaire $V[z]$ du plongeur à une profondeur z sachant que celui-ci avant de plonger gonfle ses poumons à leur capacité maximale V_M puis bloque sa respiration. On donne $z = 10\text{m}$ et $V_M = 7\text{L}$. Faire l'application numérique.

La flottabilité est la résultante de la poussée d'Archimède et du poids.

- Comment varie la flottabilité lorsque le plongeur va de plus en plus profond ? Justifier.

Afin de faciliter leur descente lors des premiers mètres, les plongeurs utilisent souvent un lest de plomb, *i.e.* une plaque de volume négligeable de masse m_1 attachée à la ceinture et facilement largable. On note m la masse du plongeur, $V^*[z]$ le volume de son corps décomposée en V_0 , son volume hors cage thoracique et $V[z]$ le volume de sa cage thoracique : $V^*[z] = V_0 + V[z]$

- Quelle masse m_1 de lest doit choisir le plongeur afin d'avoir une flottabilité nulle à 5m de profondeur ? Faire l'application numérique.
Données : $V_0 = 77\text{L}$ et $m = 80\text{kg}$.

Cycle de Diesel

Dans cet exercice on étudie le principe de fonctionnement d'un moteur thermique de type « Diesel ».

1. Représenter le schéma de principe des échanges thermiques (ou *schéma synoptique*) d'un moteur di-therme d'une locomotive en précisant les signes des différents échanges énergétiques.
2. Déterminer le rendement théorique maximal qu'il est possible d'obtenir à partir d'une source froide de température T_f et une source chaude de température T_c .

Le moteur des locomotives diesel fut inventé en 1892 par l'ingénieur allemand Rudolf Diesel. Les premières locomotives « Diesel-mécanique » où la puissance est transmise par l'intermédiaire d'une boîte de vitesse à pignons furent rapidement remplacées par des locomotives « Diesel-électrique » où le moteur diesel, en tournant, entraîne un alternateur. Ce dernier fournit de l'énergie à plusieurs moteurs électriques de traction. On modélise le fonctionnement d'un moteur Diesel en considérant un système fermé, constitué de n moles de gaz parfait (coefficient de compression adiabatique γ), décrivant le cycle dont les caractéristiques sont décrites ci-dessous.

- ▷ *Admission A_0A* : la soupape d'arrivée de l'air est ouverte, celles d'arrivée de gasoil et celle d'échappement des gaz sont fermées. Le volume passe de V_{\min} à V_{\max} de façon isobare. Dans l'état A la pression est $P_{\text{atm}} = 1,00 \cdot 10^5 \text{Pa}$ et la température $T_{\text{atm}} = 300\text{K}$.
 - ▷ *Compression AB* : les soupapes sont fermées. Le volume de l'air admis passe de V_{\max} à V_{\min} de manière adiabatique et réversible.
 - ▷ *Injection et combustion BC* : les soupapes sont fermées, sauf celle d'injection du gasoil. Une petite quantité de gasoil est injectée et la combustion se produit. Le volume augmente jusqu'à V_C . On modélise cette phase par une évolution isobare.
 - ▷ *Détente CD* : les soupapes sont fermées. Le mélange subit une détente adiabatique réversible jusqu'à atteindre un volume V_{\max} .
 - ▷ *Refroidissement DA* : la soupape d'échappement est ouverte. La pression diminue brutalement jusqu'à P_{atm} , le volume restant constant.
 - ▷ *Éjection AA_0* : la soupape d'échappement est ouverte, les autres fermées. Le volume passe de V_{\max} à V_{\min} de façon isobare.
3. Représenter le diagramme $A_0 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A \rightarrow A_0$ dans le diagramme de Watt/Clapeyron (P, V) donné en annexe.
 4. On définit le rapport volumétrique de compression $x = V_{\max}/V_{\min}$, ainsi que le rapport volumétrique de détente $y = V_{\max}/V_C$. Exprimer les températures T_B , T_C et T_D en fonction de T_{atm} , x , y et γ .
 5. Justifier que le rendement thermodynamique du moteur peut s'exprimer comme $\eta_D = 1 - \frac{Q_{D \rightarrow A}}{Q_{B \rightarrow C}}$.
 6. Montrer que : $\eta_D = 1 + \frac{1}{\gamma} \frac{x^{-\gamma} - y^{-\gamma}}{x^{-1} - y^{-1}}$.
Faire l'application numérique en utilisant les données en fin d'énoncé. Commenter la valeur obtenue.
 7. On mesure expérimentalement un rendement $\eta_D = 0,45$. Discuter l'écart observé entre la valeur théorique et expérimental.
 8. Montrer que le travail fourni par le moteur sur un cycle est :

$$W_{\text{fourni}} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \eta_D x^\gamma (y^{-1} - x^{-1}) P_{\text{atm}} V_{\max}$$

Faire l'application numérique (*on utilisera la valeur expérimentale de η_D* .)

9. Une locomotive à moteur Diesel roule à vitesse constante $v = 140\text{km/h}$. Le moteur tourne à la vitesse angulaire, elle aussi constante, de 2000tr/min , un tour correspondant à un cycle du moteur. Calculer la

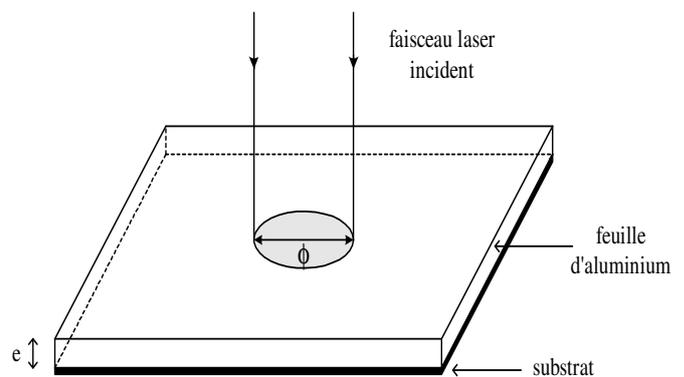
puissance mécanique moyenne du moteur de la locomotive (toujours en utilisant la valeur du rendement réellement observé) ainsi que sa consommation de gasoil en litres pour 100km. On utilisera les données en fin d'énoncé.

Données :

- ▷ *Volume maximal du gaz dans le cycle Diesel* : $V_{max} = 57L$
- ▷ *Rapport volumétrique de compression* : $x = V_{max}/V_{min} = 20$
- ▷ *Rapport volumétrique de détente* : $y = V_{max}/V_C = 7$
- ▷ *Coefficient de compression adiabatique* : $\gamma = 1,4$
- ▷ *Constante des gaz parfaits* : $R = 8,314J.K^{-1}.mol^{-1}$
- ▷ *Transfert thermique libéré par la combustion isobare d'une unité de masse de gasoil* : $q_{comb} = 46,8MJ/kg$
- ▷ *Masse volumique du gasoil* : $\rho_{gas} = 840kg.m^{-3}$

Usinage d'une pièce de métal

La puissance lumineuse d'un laser absorbée par un métal est utilisée pour usiner des pièces métalliques. On étudie ici le perçage par vaporisation d'une mince couche d'aluminium déposée sur un substrat thermiquement isolant. Les conditions opératoires sont celles de la figure ci-contre.



La feuille métallique horizontale, d'épaisseur e , reçoit perpendiculairement à sa surface une pulsation laser de durée Δt . Le faisceau est supposé parfaitement cylindrique, de diamètre Φ .

On désigne par (S) le système thermodynamique défini par la masse m_0 d'aluminium contenue dans le volume cylindrique de diamètre Φ et d'épaisseur e . On fait les hypothèses suivantes :

- ▷ On note R la réflectivité de l'aluminium pour le rayonnement étudié : c'est la proportion de la puissance incidente \mathcal{P} issue du laser qui est réfléchi par l'aluminium et donc non-absorbée ;
- ▷ Tout échange thermique entre (S) et le reste de la feuille est négligé ;
- ▷ L'épaisseur e étant petite, il est admis qu'à chaque instant, la température est uniforme dans (S) et notée T . Avant l'irradiation, la température est égale à $T_0 = 293 K$;
- ▷ Le perçage s'effectue sous la pression atmosphérique constante $P_0 = 1,00 \text{ bar}$.

Données thermodynamiques relatives à l'aluminium :

- ▷ *Température de fusion* : $T_f = 933K$
- ▷ *Température de vaporisation* : $T_v = 2740K$
- ▷ *Enthalpie massique de fusion* : $L_{fus} = 397kJ.kg^{-1}$
- ▷ *Enthalpie massique de vaporisation* : $L_{vap} = 10,5MJ.kg^{-1}$
- ▷ *Masse volumique du solide* : $\rho_s = 2700kg.m^{-3}$
- ▷ *Capacité thermique massique à pression constante du solide* : $c_{ps} = 900J.K^{-1}.kg^{-1}$
- ▷ *Capacité thermique massique à pression constante du liquide* : $c_{pl} = 1090J.K^{-1}.kg^{-1}$.
- ▷ *Réflectivité* $R = 0,72$
- ▷ *Diamètre du trou* $\Phi = 0,80 \text{ mm}$
- ▷ *Épaisseur de la couche métallique* $e = 0,50 \text{ mm}$.

Les températures de changement d'état ainsi que les enthalpies massiques sont données pour la pression $P_0 = 1,00 \text{ bar}$. Les masses volumiques et les capacités thermiques sont indépendantes de la température.

L'irradiation de l'aluminium conduit, à partir de l'état solide à T_0 , à sa vaporisation totale, où la dernière goutte de métal s'est vaporisée, à T_v .

1. Estimer la masse m_0 d'aluminium. Faire l'application numérique.
2. Représenter sur le diagramme d'état (P, T) de l'aluminium donné en annexe la transformation subie par le système (S) .
3. Déterminer l'expression littérale de la variation d'enthalpie ΔH correspondant à l'ensemble de la transformation thermodynamique. Faire d'application numérique.

Le laser utilisé est un YAG-Nd³⁺ dont la puissance est $\mathcal{P} = 700\text{W}$ constante au cours du temps.

4. Donner la durée Δt d'impulsion (\sim d'éclairement) afin de réaliser la vaporisation de l'aluminium.
5. Représenter schématiquement l'évolution de la température du métal en fonction du temps. On précisera les valeurs des températures des différents paliers mais pas les pentes des différentes parties de la courbe.

On cherche à présent à découper cette feuille d'aluminium avec le laser utilisé cette fois en mode continu (c'est-à-dire non pulsé). Le laser se déplace en irradiant une feuille métallique selon un mouvement de translation uniforme de vitesse V , perpendiculairement à la direction du faisceau.

6. Calculer la vitesse maximale V_M de déplacement du laser.

ANNEXE

