

CORRECTION CCP TSI PHYSIQUE 2012

(A-M.B A.G. tous droits réservés diffusion interdite)

PREMIER PROBLEME : SOUS-MARINS

Première partie : immersion du sous-marin

1/ Relation entre pression et profondeur de l'eau de mer

1.1 Forces s'exerçant sur ce volume élémentaire : Poids \overrightarrow{dP} , Forces de pression \overrightarrow{dF}

Equilibre : on a dans ce référentiel galiléen $\overrightarrow{dP} + \overrightarrow{dF} = \vec{0}$. En projetant :

sur Ox : $P(x, y, z) dy dz - P(x+dx, y, z) dy dz = 0$ donc **P ne dépend pas de x.**

sur Oy : $P(x, y, z) dx dz - P(x, y+dy, z) dx dz = 0$ donc **P ne dépend pas de y.**

La résultante des forces devient : $(-\rho dx dy dz g + P(z)dx dy - P(z+dz)dx dy)\vec{e}_z$

A l'équilibre : $-\rho dx dy dz g + P(z)dx dy - P(z+dz)dx dy = 0$

Or $P(z+dz) - P(z) = (dP/dz) dz$ d'où $(dP/dz) = -\rho g$

Rmq : Sur le schéma le trièdre Oxyz n'est pas direct. C'est sans incidence sur la suite....

1.2 En intégrant la relation fondamentale de la statique entre $z = 0$ et z :

$P(z) - P(0) = -\rho g (z - 0)$ car ρ est constant Soit $P(z) = P_0 - \rho g z$

A.N $P_{300} = P(-300) = 31,3 \cdot 10^5$ Pa

2/ Utilisation des ballasts

2.1 Le sous-marin est soumis à son poids et à la poussée d'Archimède de l'eau.

Il est en équilibre donc $Mg = \rho_0 V_{imm} g$ soit $M = \rho_0 V_{imm}$

2.2 $V = L \pi R^2$ d'où $V_{imm} / V = M / (\rho_0 L \pi R^2) = 0,871$.

Le sous-marin est pratiquement entièrement immergé.

2.3 En remplaçant l'air des ballasts par de l'eau, le poids de l'ensemble augmente et le sous-marin va s'enfoncer dans l'eau.

2.4 Le sous-marin est en équilibre donc $(M + \rho_0 V_b) g = \rho_0 V g$ d'où $V_b = V - M/\rho_0$

A.N. $V_b = 2,0 \cdot 10^3$ m³

2.5 La coque extérieure correspond à la séparation eau de mer / eau de mer à la même pression donc peut être plus mince et légère. Par contre la coque intérieure sépare l'eau de mer qui peut être à forte pression (car à grande profondeur) de l'intérieur qui est à la pression de 1 bar donc elle doit être très épaisse et résistante.

Deuxième partie : propulsion du sous-marin

3/ Propulsion nucléaire

3.1.1 . Le système Σ_f est fermé, donc sa masse est constante : $M(t) = M(t+dt)$

La masse est une grandeur extensive, soit $M(t) = dm_e + M_C(t) = dm_s + M_C(t+dt)$

De plus l'écoulement est permanent donc $M_C(t) = M_C(t+dt)$ donc $dm_e = dm_s = dm$

3.1.2 On applique le premier principe au système fermé Σ_f entre t et $t+dt$

$dE = E(t+dt) - E(t) = \delta W + \delta Q$

L'énergie est une grandeur extensive $E(t+dt) - E(t) = [dm_s e_s + E_C(t+dt)] - [dm_e e_e - E_C(t)] = dm (e_s - e_e)$

L'écoulement est permanent donc $E_C(t) = E_C(t+dt)$

$\delta W = P_e v_e dm_e - P_s v_s dm_s + dm w_i$

$\delta Q = dm q$

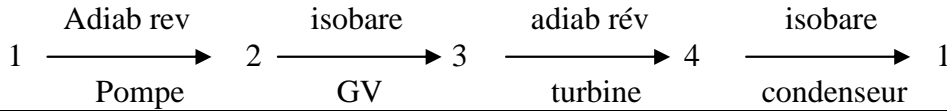
On en déduit $dm (e_s - e_e) = P_e v_e dm - P_s v_s dm + dm w_i + dm q$

De plus $e = u + e_c + e_p$ et $h = u + Pv$

On en déduit $(h_s + e_{cs} + e_{ps}) - (h_e + e_{ce} + e_{pe}) = w_i + q$ **Soit $\Delta h + \Delta e_c + \Delta e_p = w_i + q$**

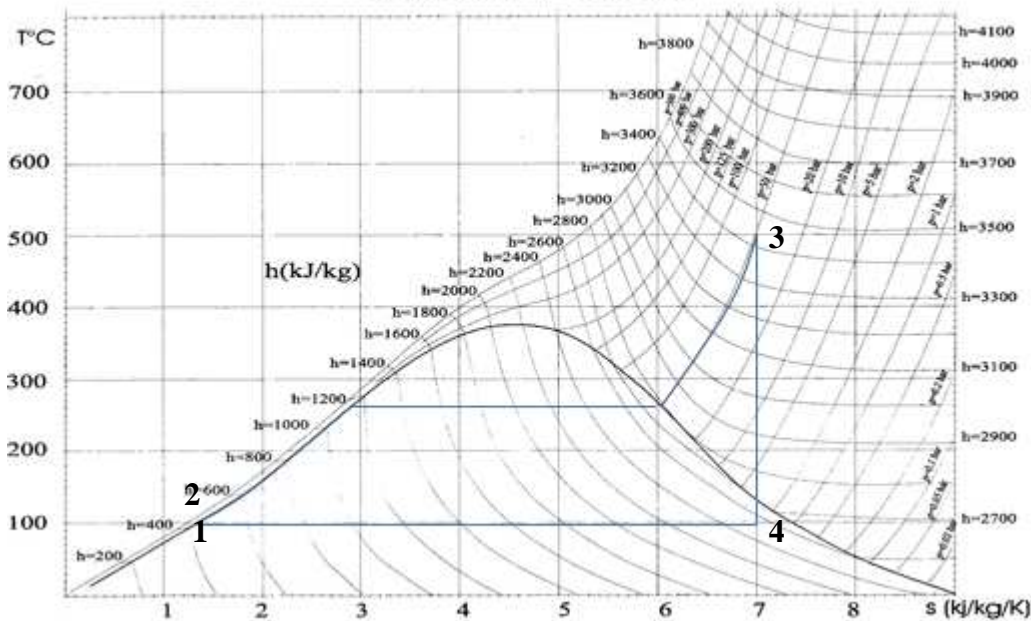
3.2 La courbe représentative d'une évolution isentropique est, dans le diagramme (T,s), un segment vertical.

3.3 Cycle de Rankine



$P_1 = 1 \text{ bar}$	$P_2 = 50 \text{ bar}$	P_2	P_1	$P_1 = 1 \text{ bar}$
$t_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$	t_1	$t_3 = 500 \text{ }^\circ\text{C}$		t_1
Liq sat	Liq	Vapeur	Liq - Vap	Liq sat

Diagramme T- S de l'eau



3.4

T_1	h_3	h_4	s_4	$s_v(T_1)$	$s_l(T_1)$
$100 \text{ }^\circ\text{C}$	3440 kJ/kg	2520 kJ/kg	$7,0 \text{ kJ/kg/K}$	$7,4 \text{ kJ/kg/K}$	$1,4 \text{ kJ/kg/K}$

3.5 S est une grandeur extensive donc $s_4 = (1-x_4) s_l(T_1) + x_4 s_v(T_1)$

D'où $x_4 =$

A.N. $x_4 = 0,93$ (cohérent avec le fait que 4 est proche de la courbe de rosée)

3.6 Il n'y a pas de travail massique indiqué dans le condenseur, ni dans le générateur de vapeur. Donc en utilisant le premier principe :

$q_{\text{cond}} = h_1 - h_4 = -2080 \text{ kJ/kg}$

$q_{\text{GV}} = h_3 - h_2 = 2965 \text{ kJ/kg}$

La pompe et la turbine sont adiabatiques donc en utilisant le premier principe :

$w_{\text{pompe}} = h_2 - h_1 = 35 \text{ kJ/kg}$

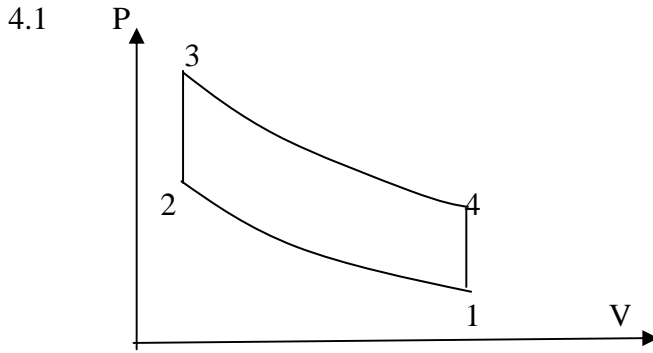
$w_{\text{turb}} = h_4 - h_3 = -920 \text{ kJ/kg}$

On vérifie bien que sur un cycle $q_{\text{cond}} + q_{\text{GV}} + w_{\text{pompe}} + w_{\text{turb}} = 0$

3.7 $w_{\text{alt}} = -(w_{\text{pompe}} + w_{\text{turb}}) = 885 \text{ kJ/kg}$

3.8 Il s'agit d'un cycle moteur. Le rendement est le rapport de l'énergie utile (travail fourni w_{alt}) sur l'énergie coûteuse (quantité de chaleur reçue q_{GV}) : **$\eta = w_{\text{alt}}/q_{\text{GV}} = 0,30$**

4 Moteur Stirling



Le cycle est moteur :
L'aire A est positive car le cycle est décrit dans le sens horaire

Or $W_{\text{cycle}} = \oint_{\text{cycle}} -PdV = -A$
Donc $W < 0$ (moteur)

4.2 La transformation est isotherme et réversible :

$$W_{12} = \int_1^2 -PdV = -nRT_1 \ln(V_2/V_1) \text{ donc } W_{12} = nRT_1 \ln \rho (>0, \text{ cohérent avec compression})$$

Pour un gaz parfait, lors d'une telle transformation, $\Delta U = C_v \Delta T = 0 = W_{12} + Q_{12}$ d'après le premier principe. D'où $Q_{12} = -nRT_1 \ln \rho (<0)$

4.3 La transformation est isochore réversible donc $W_{23} = 0$ et $T_2 = T_1$

D'après le premier principe $Q_{23} = \Delta U = C_v (T_3 - T_1)$ ou $Q_{23} = nR/(\gamma-1) (T_3 - T_1) (>0, \text{ cohérent avec réchauffement par régénérateur et chaudière})$

4.4 La détente est isotherme et réversible et $V_4/V_3 = V_1/V_2 = \rho$ donc :

$$W_{34} = -nRT_3 \ln \rho (<0, \text{ cohérent avec détente})$$

Comme en 4.2, $Q_{34} = -W_{34} = nRT_3 \ln \rho (>0)$

4.5 La transformation est isochore et réversible et $T_4 = T_3$ donc comme en 4.3 :

$$Q_{41} = nR/(\gamma-1) (T_1 - T_3) (<0, \text{ refroidissement})$$

4.6 La grandeur coûteuse devient Q_{34} car elle est positive.

D'après le premier principe $W + Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{41} = 0$ soit $W = -(Q_{12} + Q_{34})$ ou $W = W_{12} + W_{34}$

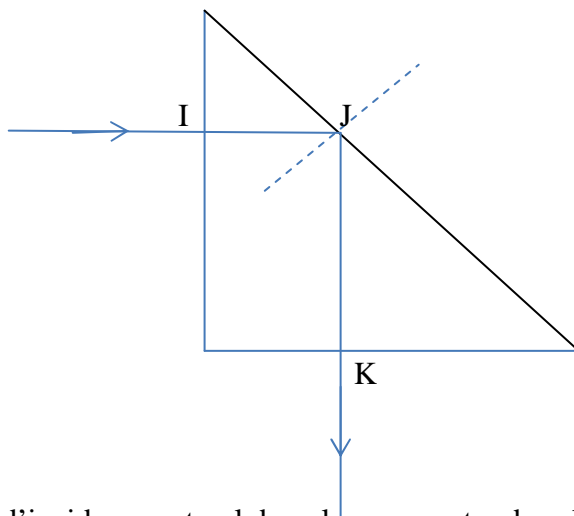
Le rendement est $\eta' = -W / Q_{34} = 1 + Q_{12}/Q_{34}$ donc $\eta' = 1 - T_1/T_3$

On retrouve le rendement maximal du cycle moteur réversible de Carnot.

A.N $\eta' = 0,50$

Troisième partie : périscope

5.1



En I : l'angle d'incidence est nul donc le rayon entre dans le prisme sans être dévié

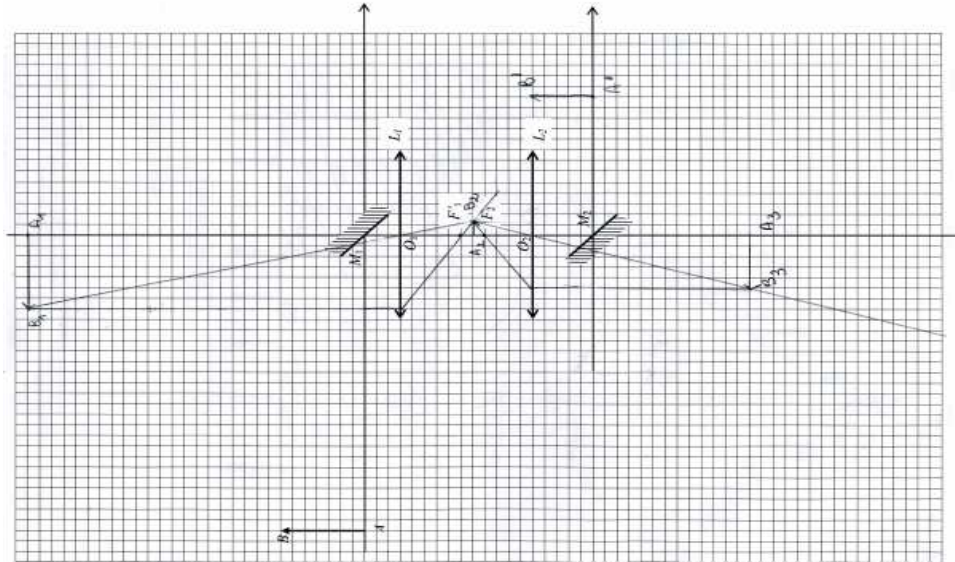
En J : l'angle d'incidence r est égal à 45° .

L'angle limite de réflexion totale est $i_{\text{lim}} = \arcsin(1/n) = 41,8^\circ$

Comme $r > i_{\text{lim}}$, il y a réflexion totale en J

En K, l'angle d'incidence est nul donc le rayon sort du prisme sans être dévié.

5.2 Construction



$$5.3 \quad A \xrightarrow{\text{miroir 1}} A_1 \xrightarrow{\text{lentille 1}} A_2 \xrightarrow{\text{lentille 2}} A_3 \xrightarrow{\text{miroir 2}} A'$$

On a $A_1O_1 = 100,3$ m. En utilisant la formule des lentilles (ou en considérant A_1 à « l'infini »):

$$\frac{1}{O_1A_2} - \frac{1}{O_1A_1} = \frac{1}{f_1'} \quad \text{on obtient } \overline{O_1A_2} = 0,502 \text{ m} \approx 0,50 \text{ m}$$

On a donc $\overline{O_2A_2} = -0,6$ m d'où $\overline{O_2A_3} = 1,2$ m

$$\overline{M_2A'} = 0,30 \text{ m. (ou } 0,31 \text{ cm si on n'arrondit pas la valeur de } \overline{O_1A_2} \text{)}$$

$$\overline{A'B'} = -\overline{A_3B_3} = -\gamma_2 \overline{A_2B_2} = -\gamma_2 \gamma_1 \overline{A_1B_1} = \gamma_2 \gamma_1 \overline{AB} \approx 0,01 \overline{AB} \quad \text{d'où } \gamma = 0,01.$$

L'image est dans le même sens que l'objet.

5.4 On peut utiliser la méthode d'auto collimation. On utilise pour cela un miroir plan placé derrière la lentille. Lorsque l'objet est au foyer de la lentille, l'image de l'objet par le système lentille /miroir/ lentille doit se former dans le même plan que l'objet. On en déduit la distance focale...

DEUXIEME PROBLEME : MACHINE ASYNCHRONE

Première partie : étude du stator

$$6.1 \quad [K] = [B]/[I] = [\varphi]/[S] \quad [I] = [L]/[S] : K \text{ s'exprime bien en } H.m^{-2}.$$

6.2 D'après le théorème de Ferraris (merci), on obtient :

$$\vec{B} = 3/2 K I_0 (\cos(\omega_s t) \vec{e}_x + \sin(\omega_s t) \vec{e}_y)$$

Il s'agit d'un champ magnétique tournant dans le plan xOy à la vitesse angulaire ω_s .

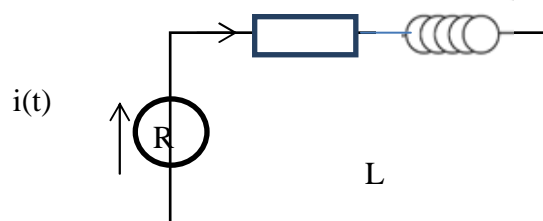
Deuxième partie : entraînement du moteur

$$7.1 \quad \text{En posant } \phi_0 = BS \text{ (flux maximal), on a } \phi = \phi_0 \cos(\omega_s - \omega) t = \phi_0 \cos \Omega t$$

D'après la loi de Faraday, $e = - (d\phi/dt)$ d'où $e = \phi_0 \Omega \sin \Omega t$ (l'énoncé ne dit nulle part que le champ B est uniforme sur le cadre).

7.2 Equation différentielle

Schéma électrique :



Equation électrique :

$$e = \phi_0 \Omega \sin(\Omega t) = R i(t) + L \frac{di(t)}{dt}$$

7.2.2 : on utilise la notation complexe $\underline{i} = I_M \exp j(\Omega t - \psi - \pi/2)$ avec $i(t) = \text{Re}(\underline{i})$

Et $\underline{e} = \phi_0 \Omega \exp j(\Omega t - \pi/2)$

D'où $(R + jL\Omega) I_M \exp(-j\psi) = \phi_0 \Omega$

On a donc : $\underline{i} = ((\phi_0 \Omega) / (R + jL\Omega)) \exp j(\Omega t - \pi/2)$

7.2.3 Si $\Omega > 0$: $I_M = (\phi_0 \Omega) / \sqrt{R^2 + L^2 \Omega^2}$ et $\cos \psi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + L^2 \Omega^2}}$ et $\sin \psi > 0$

(Si $\Omega < 0$: $I_M = - (\phi_0 \Omega) / (\sqrt{R^2 + L^2 \Omega^2})$ et $\cos \psi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + L^2 \Omega^2}}$ et $\sin \psi < 0$)

Dans un circuit inductif, $i(t)$ est en retard sur $e(t)$.

7.2.4 $i_{\text{eff}} = |I_M| / \sqrt{2} \approx \phi_0 / L\sqrt{2} = 7,1 \text{ mA}$ car $R \ll L\Omega$ (donc $\Omega > 0 \dots$)

7.2.5 La valeur efficace de l'intensité peut se mesurer avec un multimètre RMS ou TRMS (True Root Mean Square).

Pour un multimètre, DC correspond à la mesure en continu c.à.d. de la valeur moyenne de i , AC à la valeur efficace si le signal est sinusoïdal.

Pour un oscilloscope, DC permet d'afficher le signal complet en temps réel, AC ce même signal sans sa composante continue.

7.3 $\vec{\Gamma}(t) = \vec{m}_s \wedge \vec{E} = I_M B_0 S \sin(\Omega t - \psi) \sin(\Omega t) \vec{e}_z$

$\Gamma = \vec{\Gamma} \cdot \vec{e}_z = B_0 S I_M \sin(\Omega t - \psi) \sin(\Omega t)$

7.4 $\sin(\Omega t - \psi) \sin(\Omega t) = \frac{1}{2} (\cos(-\psi) - \cos(2\Omega t - \psi))$

$\langle \cos(2\Omega t - \psi) \rangle = 0$ et $\cos \psi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + L^2 \Omega^2}}$
 d'où $\Gamma_m = \langle \vec{\Gamma}(t) \cdot \vec{e}_z \rangle = \frac{R \Omega (\phi_0^2)}{2(R^2 + L^2 \Omega^2)}$ soit $\Gamma_m = \frac{(\phi_0^2) / 2L}{\frac{R^2 + L^2 \Omega^2}{RL\Omega}}$

7.5 Quand ω tend vers 0, c'est le moment du démarrage du moteur.

Le couple sera moteur si Γ positif c.a.d si $\Omega = \omega_s - \omega > 0$ soit pour $\omega < \omega_s$.

Il sera résistant ($\Gamma < 0$) si $\omega > \omega_s$.

Troisième partie : puissance et rendement d'un moteur

8. On applique à l'arbre le théorème du moment cinétique en projection sur l'axe :

$dL_{\Delta}/dt = \mathbf{J} (d\Omega_m/dt) = \mathbf{M}_{\Delta, \text{ext}} = \Gamma - \Gamma_r$. Pourquoi Ω_m ?

9. Pour démarrer, il faut que $(d\Omega_m/dt) > 0$ donc $\Gamma_d > \Gamma_r$: seuls les moteurs 2 et 3 peuvent démarrer avec la charge imposée.

10. 1 Puissance mécanique moyenne fournie par le moteur :

$\langle P_{\text{meca}} \rangle = \Gamma_m \omega = \frac{R(\omega_1(s-) \omega) \omega (\phi_0^2)}{2(R^2 + L^2 (\omega_1(s-) \omega)^2)}$

10.2 Puissance moyenne dissipée par effet Joule dans les conducteurs :

$\langle P_J \rangle = R I_{\text{eff}}^2 = \frac{R(\omega_1(s-) \omega)^2 (\phi_0^2)}{2(R^2 + L^2 (\omega_1(s-) \omega)^2)}$

10.3 Puissance électrique moyenne :

$\langle P_{\text{el}} \rangle = \langle P_{\text{meca}} \rangle + \langle P_J \rangle = \frac{R(\omega_1(s-) \omega) \omega_1 s (\phi_0^2)}{2(R^2 + L^2 (\omega_1(s-) \omega)^2)}$

10.4 Le rendement du moteur est $\frac{\langle P_{\text{meca}} \rangle}{\langle P_{\text{el}} \rangle} = \frac{\omega}{\omega_s} = 1 - g$

$g = 0,05$ donc le rendement est 0,95.