



CENTRE REGIONAL DES METIERS DE L'EDUCATION ET DE LA FORMATION
Marrakech-Safi

CONCOURS D'ACCES A LA PREMIERE ANNEE
DU CYCLE DE PREPARATION A L'AGRÉGATION

DE SCIENCES PHYSIQUES

OPTION : Physique

Session : novembre 2021

Épreuve : **Physique I**

Durée : 4 heures

Coefficient : 2

À LIRE ATTENTIVEMENT

Cette épreuve est un QCM qui comporte 6 pages en plus de cette page de garde.

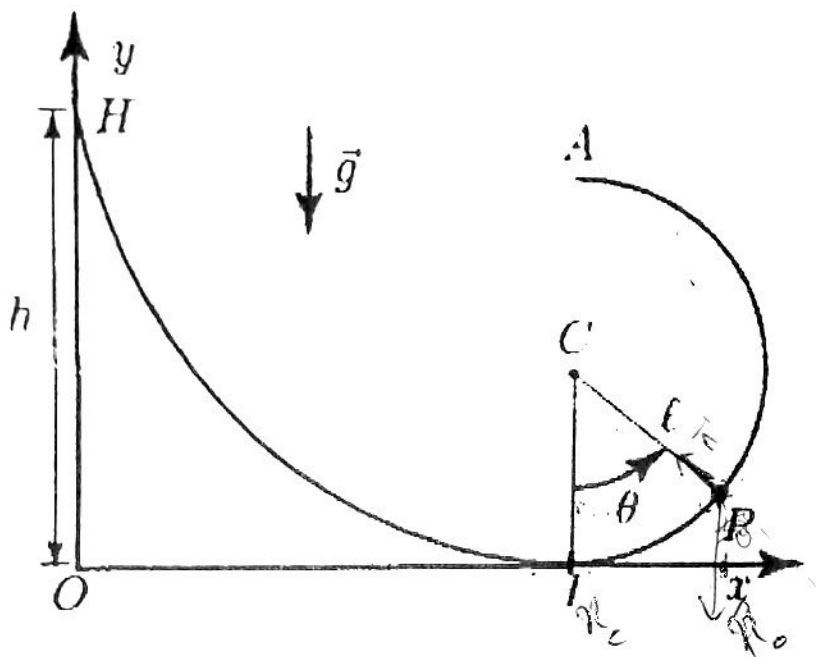
- Les calculatrices sont autorisées. **L'usage des téléphones portables est strictement interdit.**
- Vous devez cocher (mettre une croix "X") les cases qui correspondent à vos réponses dans le **document réponse** (ci-joint) qui doit être rendu à la fin de l'épreuve.
- **Attention**, il ne vous est délivré qu'un seul document réponse.
- **Attention**: toute réponse fautive entraîne une pénalité dans la note.

1^{re} partie
Mécanique

1. Mobile sur un rail :

Un mobile P assimilé à un point matériel de masse m , se déplace sur un rail situé dans un plan vertical. Le rail comporte une partie constituée d'un demi cercle de centre C et de diamètre $IA = 2l$. On néglige tout frottement et la liaison entre le mobile et le rail est unilatérale c'est-à-dire que la réaction $\vec{R}$ exercée par le rail sur le mobile ne peut changer de sens. La position du point P lorsque sa trajectoire est à l'intérieur du demi cercle est repérée par l'angle θ .

On désigne par g la norme de l'accélération de la pesanteur. A l'instant $t = 0$, le mobile



est libéré en H sans vitesse initiale à la hauteur h .

- 1.1. Exprimer en fonction de l , h , g et θ , la norme v_P de la vitesse du point P lorsqu'il est à l'intérieur du demi cercle.
- 1.2. Donner l'expression de la norme de la réaction $\vec{R}$ exercée par le rail sur le point P.
- 1.3. De quelle hauteur minimale h_m doit-on lâcher le mobile sans vitesse initiale en H pour qu'il arrive jusqu'en A, point le plus haut du demi cercle?
- 1.4. Donner dans ces conditions ($h = h_m$), l'expression de la réaction $\vec{R}_I$ en I, point le plus bas de la trajectoire.
- 1.5. Exprimer la norme v_A de la vitesse du mobile lorsqu'il arrive au point A après avoir été lâché sans vitesse initiale depuis une hauteur $h = h_m$.
- 1.6. On désigne par x_c l'abscisse du centre du demi cercle. Calculer pour $h = h_m$, l'abscisse x_0 du point P lorsque la trajectoire du mobile coupe l'axe Ox tangent au demi cercle en I après être passée par le point A.

2. Mouvement d'un satellite :

On désigne par $R_G(T, \vec{e}_{x0}, \vec{e}_{y0}, \vec{e}_{z0})$ un référentiel dont l'origine coïncide avec le centre T de la Terre et dont les axes sont dirigés vers trois étoiles fixes de la sphère céleste. Dans ce référentiel que l'on suppose galiléen, la Terre est animée d'un mouvement de rotation uniforme de vecteur vitesse de rotation $\vec{\Omega} = \Omega \vec{e}_{z0}$. La Terre, de masse M , est supposée sphérique de rayon R et parfaitement homogène.

Un satellite de masse m , supposé ponctuel et exclusivement soumis à la force de gravitation de la Terre est placé sur une orbite circulaire à une altitude h .

- 2.1. En appliquant le théorème du moment cinétique au satellite en T dans R_G , donner la nature de sa trajectoire dans R_G .
- 2.2. Calculer la vitesse v_0 du satellite sur sa trajectoire dans R_G en fonction de son altitude h . On désigne par G la constante de Gravitation Universelle.
- 2.3. Calculer la période de révolution T_0 du mouvement du satellite en fonction de son altitude h .
- 2.4. Calculer l'énergie mécanique $E_{m,t}$ du satellite sur sa trajectoire dans R_G .
- 2.5. Calculer l'énergie mécanique $E_{m,s}$ du satellite lorsqu'il est immobile au sol en un point M de la Terre situé à la latitude λ .
- 2.6. Exprimer l'énergie E_{sat} qu'il est nécessaire de fournir au satellite pour le placer sur son orbite.

2^{me} partie Thermodynamique

3. Gaz parfait diatomique :

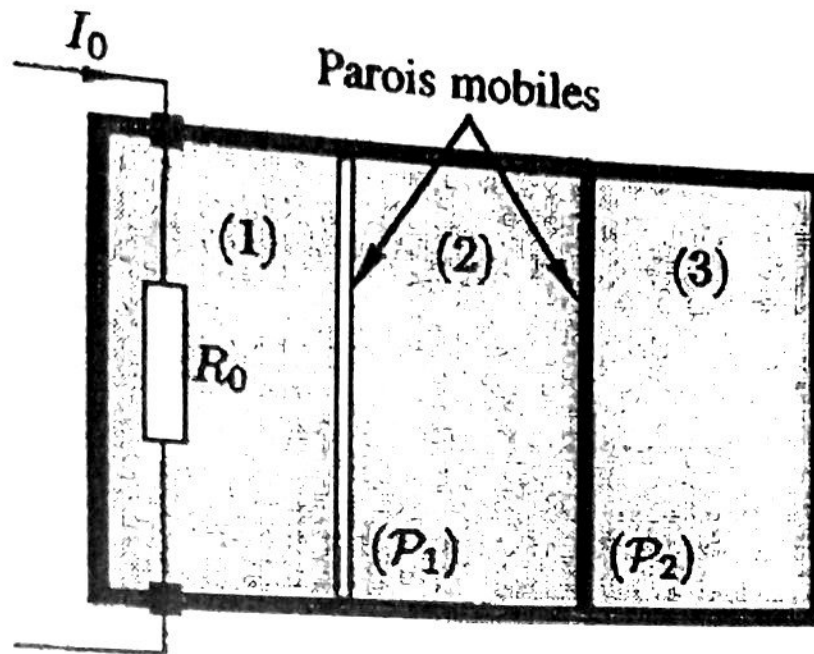
Un récipient à parois rigides et calorifugées est divisé en trois compartiments étanches par deux cloisons mobiles (P_1) et (P_2) pouvant se déplacer sans frottement. La cloison (P_1) est diathermane tandis que la cloison (P_2) est adiabatique. Les compartiments (1), (2) et (3) contiennent chacun une mole d'un gaz parfait diatomique.

Un générateur électrique fournit de l'énergie au gaz par l'intermédiaire d'un résistor de résistance R_0 , de capacité thermique négligeable, parcouru par un courant constant I_0 pendant une durée τ .

Dans l'état initial, les gaz sont à la même température T_0 et à la même pression p_0 . Ils occupent alors chacun le même volume V_0 . On désigne par R la constante des gaz parfaits et par $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ le rapport des capacités thermiques massiques à pression constante c_p et à volume constant c_v .

On fait passer un courant suffisamment faible pour que le système évolue lentement. On arrête le chauffage lorsque la température du compartiment (3) $T_{3f} = aT_1$ avec $a > 1$.

- 3.1. Calculer la pression finale p_f en fonction de p_0 , a et γ .
- 3.2. Calculer le volume V_{3f} du gaz dans le compartiment (3) en fonction de V_0 , a et γ .



- 3.3. Exprimer le volume final V_{1f} du gaz dans le compartiment (1) en fonction de V_0 , a et γ .
- 3.4. En déduire la température finale T_{1f} du gaz dans le compartiment (1) en fonction de T_0 , a et γ .
- 3.5. Calculer le travail W_g fourni par le générateur.
- 3.6. Calculer la variation d'entropie ΔS du système constitué par l'ensemble des gaz dans les trois compartiments.
- 3.7. Calculer l'entropie totale S_p produite dans le système constitué par l'ensemble des gaz et de résistor.

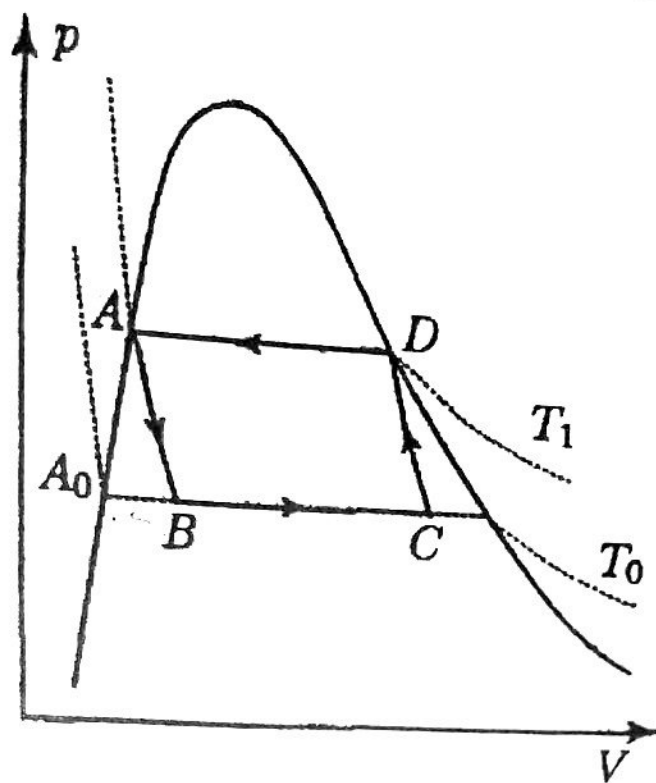
4. Machine frigorifique :

L'unité de masse du fluide d'une machine frigorifique décrit le cycle ABCD représenté sur le diagramme pV de la figure ci-contre. Les points A et D sont définis respectivement par les intersections de l'isotherme d'Andrews T les courbes d'ébullition et de rosée. Les points B et C correspondent respectivement aux intersections de l'isotherme d'Andrews T_l les courbes adiabatiques réversibles passant par les points A et D.

On désigne respectivement par x_B et x_C les titres massiques en vapeur du fluide en B et C et par l_0 et l_1 les chaleurs latentes massiques de vaporisation aux températures respectives T_0 et T_1 .

On considère le point A_0 sur la courbe d'ébullition où le fluide est en totalité à l'état liquide à la température T_0 , et on suppose que la chaleur massique c_l du liquide saturant reste constante.

- 4.1. Calculer la variation d'entropie $S_A - S_{A_0}$ lorsqu'on amène le fluide de A_0 en A le long de la courbe d'ébullition.



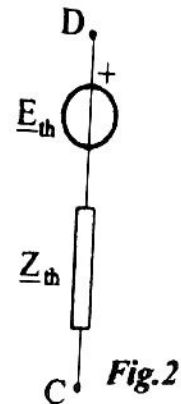
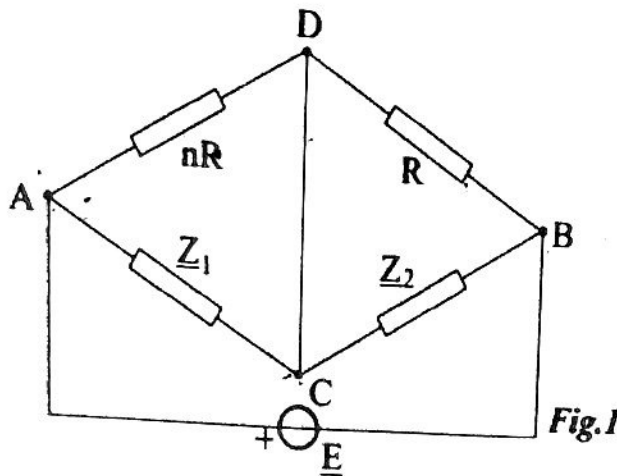
- 4.2. Calculer la variation d'entropie $S_B - S_{A_0}$ lors de l'étape de vaporisation isotherme partielle qui amène le fluide de l'état A_0 à l'état B.
- 4.3. En déduire x_B .
- 4.4. Calculer la variation d'entropie $S_A - S_D$ lors de l'étape de condensation isotherme totale qui amène le fluide de l'état D à l'état A. En déduire l'expression de x_C .
- 4.5. Calculer la quantité de chaleur Q_1 échangée avec le milieu extérieur lors de la condensation isotherme totale qui amène le fluide de l'état D à l'état A.
- 4.6. Calculer la quantité de chaleur Q_0 échangée avec le milieu extérieur lors de la vaporisation isotherme partielle qui amène le fluide de l'état B à l'état C.
- 4.7. Calculer le travail W échangé au cours d'un cycle.
- 4.8. Calculer l'efficacité η de la machine, sachant que $T_0 = 268 \text{ K}$ et $T_1 = 288 \text{ K}$.

3^{me} partie Électronique

5. Fréquencemètre à "pont d'impédance" :

Un "pont d'impédance" est alimenté en régime sinusoïdal par un générateur de tension de force électromotrice $e(t) = E \cos(\omega t)$ et d'impédance interne négligeable (figure 1). La branche CD a une impédance négligeable. R est une résistance et n un nombre entier.

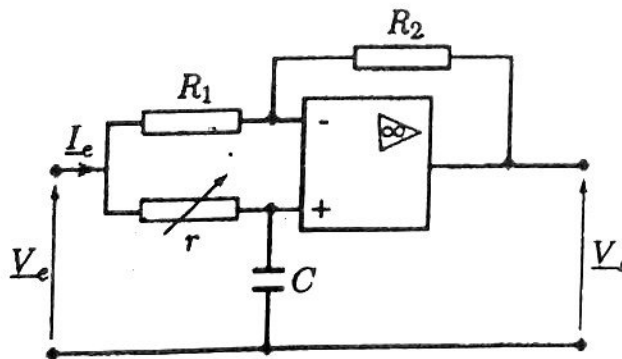
- 5.1. Calculer la force électromotrice $\underline{E}_{th}$ du générateur de Thévenin équivalent au dipôle de bornes C et D, obtenu en enlevant la branche CD, en fonction de n, des impédances complexes $\underline{Z}_1$, $\underline{Z}_2$ et de l'amplitude complexe $\underline{E}$ de $e(t)$ (figure 2).



- 5.2 Calculer l'impédance interne Z_{th} du générateur de Thévenin en fonction de Z_1 , Z_2 , R et n .
- 5.3 La branche AC est constituée par un condensateur de capacité C_1 en série avec une résistance R_1 . La branche BC est constituée par un condensateur de capacité C_2 en parallèle avec une résistance R_2 . Déterminer la valeur ω_0 de la pulsation ω et la relation qui lie les rapports R_1/R_2 , C_1/C_2 à n lorsque le pont (figure 1) est en équilibre (c'est-à-dire lorsque le courant est nul dans le branche (CD)).
- 5.4 On a $C_2 = 2C_1 = 0,1 \mu F$, $R_1 = 500 \Omega$ et $n = 4$. Calculer la fréquence N_0 à l'équilibre du pont, exprimée en kHz.

6. Étude d'un déphaseur :

On considère le circuit représenté sur le schéma de la figure dans lequel l'amplificateur opérationnel idéal fonctionne en régime linéaire. Ce circuit est alimenté à l'entrée par une source délivrant une tension sinusoïdale $v_e(t) = V_e \sin(\omega t)$ de pulsation ω . On désigne par $\underline{V}_e$ et $\underline{V}_s$ les amplitudes des tensions complexes associées respectivement aux tensions d'entrée $v_e(t)$ et de sortie $v_s(t)$.



- 6.1 Exprimer la fonction de transfert $\underline{T}$ du circuit définie par le rapport : $\underline{T} = \frac{\underline{V}_s}{\underline{V}_e}$
- 6.2 On donne $R_1 = 1 k\Omega$. Calculer R_2 pour que le module de la fonction de transfert $|\underline{T}|$ soit indépendant de ω .

6.3 Que vaut alors $|T|$?

6.4 On désigne par φ le déphasage de la tension de sortie par rapport à la tension d'entrée. Donner, dans ces conditions, l'expression de $\tan\left(\frac{\varphi}{2}\right)$.

6.5 On donne $\omega = 10^3 \text{ rad.s}^{-1}$ et $C = 1 \mu\text{F}$. Calculer r pour que $\varphi = -\frac{\pi}{2}$.

6.6 Calculer, dans ces conditions, l'impédance complexe d'entrée $\underline{Z}_e = \frac{\underline{V}_e}{\underline{I}_e}$ définie par le rapport des amplitudes complexes de la tension $\underline{V}_e$ sur le courant $\underline{I}_e$ délivrés à l'entrée par le générateur.



**CENTRE REGIONAL DES METIERS DE L'EDUCATION ET DE LA FORMATION
Marrakech-Safi**

**CONCOURS D'ACCES A LA PREMIERE ANNEE
DU CYCLE DE PREPARATION A L'AGRÉGATION**

DE SCIENCES PHYSIQUES

OPTION : Physique

Session : novembre 2021

Épreuve : Physique I

Document Réponse

Nom :

Prénom :

Numéro d'examen :

Document réponse-Physique I

1^{re} partie Mécanique

1. Mobile sur un rail

$$1.1. \quad \square v_P = \sqrt{2g(h - l(1 - \cos \theta))}$$

$$\square v_P = \sqrt{2g(h - l \cos \theta)}$$

$$\square v_P = \sqrt{2g(l - h \cos \theta)}$$

$$\square v_P = \sqrt{2g(h + l(1 - \sin \theta))}$$

$$1.2. \quad \square R = \frac{2mg}{l}(h - l + l \cos \theta)$$

$$\square R = \frac{2mg}{l}(h - l + l \sin \theta)$$

$$\square R = \frac{mg}{l}(h + l - l \cos \theta)$$

$$\square R = \frac{mg}{l}(2h - 2l + 3l \cos \theta)$$

$$1.3. \quad \square h_m = \frac{5l}{2}$$

$$\square h_m = 2l$$

$$\square h_m = l$$

$$\square h_m = \frac{3l}{2}$$

$$1.4. \quad \square R_I = 3mg$$

$$\square R_I = 2mg$$

$$\square R_I = 6mg$$

$$\square R_I = \frac{5mg}{2}$$

$$1.5. \quad \square v_A = \sqrt{2gl}$$

$$\square v_A = \sqrt{gl}$$

$$\square v_A = \frac{\sqrt{2gl}}{3}$$

$$\square v_A = 0$$

$$1.6. \quad \square x_0 = x_c - l$$

$$\square x_0 = 2x_c - l$$

$$\square x_0 = x_c - 2l$$

$$\square x_0 = l - x_c$$

2. Mouvement d'un satellite :

2.1. $\square$ est plane et contient le centre de la Terre.

$\square$ est plane et doit nécessairement contenir l'axe des pôles.

$\square$ est plane et parallèle au plan équatorial.

$\square$ est plane et doit nécessairement contenir le plan équatorial.

$$2.2. \quad \square v_0 = G\sqrt{\frac{M}{R+h}}$$

$$\square v_0 = G\sqrt{\frac{M}{h}}$$

$$\square v_0 = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$$

$$\square v_0 = \sqrt{\frac{GM}{h}}$$

$$2.3. \quad \square T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{MG}{(R+h)^3}}$$

$$\square T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{MG}{R+h}}$$

$$\square T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{(R+h)^3}{MG}}$$

$$\square T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{(R+h)^3}{MG}}$$

$$2.4. \quad \square E_{m,t} = \frac{mMG}{R+h}$$

$$\square E_{m,t} = \frac{mMG}{2(R+h)}$$

$$\square E_{m,t} = -\frac{mMG}{2(R+h)}$$

$$\square E_{m,t} = -\frac{mMG}{R+h}$$

$$2.5. \quad \square E_{m,s} = -\frac{mMG}{R} + \frac{1}{2}mR^2\Omega^2 \sin^2 \lambda$$

$$\square E_{m,s} = -\frac{mMG}{R} + \frac{1}{2}mR^2\Omega^2 \cos^2 \lambda$$

$$\square E_{m,s} = \frac{mMG}{2R} + \frac{1}{2}mR^2\Omega^2 \cos \lambda$$

$$\square E_{m,s} = \frac{mMG}{2R} + \frac{1}{2}mR^2\Omega^2 \sin \lambda$$

$$2.6. \quad \square E_{tot} = m \left[\frac{MG}{2R} \left(1 - \frac{h}{R+h} \right) + \frac{R^2\Omega^2}{2} \sin^2 \lambda \right]$$

$$\square E_{tot} = m \left[\frac{MG}{2R} \left(1 + \frac{h}{R} \right) + \frac{R^2\Omega^2}{4} \sin^2 \lambda \right]$$

$$\square E_{tot} = m \left[\frac{MG}{R} \left(1 - \frac{R+h}{h} \right) + \frac{R^2\Omega^2}{2} \cos \lambda \right]$$

$$\square E_{\text{sat}} = m \left[\frac{MG}{R} \left(1 - \frac{R}{2(R+h)} \right) - \frac{R^2 \Omega^2}{2} \cos^2 \lambda \right]$$

2^{me} partie
Thermodynamique

3. Gaz parfait diatomique :

$$3.1. \square p_f = p_0 a^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad \square p_f = p_0 a^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \quad \square p_f = p_0 a^{\frac{(\gamma-1)}{\gamma}} \quad \square p_f = p_0 a^{\gamma}$$

$$3.2. \square V_{3f} = V_0 a^{1-\gamma} \quad \square V_{3f} = V_0 a^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \square V_{3f} = V_0 a^{-\gamma} \quad \square V_{3f} = V_0 a^{\frac{1}{1-\gamma}}$$

$$3.3. \square V_{1f} = \frac{V_0}{2} (3 - a^{(1-\gamma)}) \quad \square V_{1f} = \frac{V_0}{2} (3 - a^{-\gamma})$$

$$\square V_{1f} = \frac{V_0}{2} \left(3 - a^{\frac{1}{(1-\gamma)}} \right) \quad \square V_{1f} = \frac{V_0}{2} \left(3 - a^{-\frac{1}{\gamma}} \right)$$

$$3.4. \square T_{1f} = \frac{T_0}{2} a^{\frac{(\gamma-1)}{\gamma}} \left(3 - a^{-\frac{1}{(\gamma-1)}} \right) \quad \square T_{1f} = \frac{T_0}{2} a^{\frac{\gamma}{(\gamma-1)}} \left(3 + a^{\frac{1}{(\gamma-1)}} \right)$$

$$\square T_{1f} = \frac{T_0}{2} a^{\gamma} \left(3 - a^{-\frac{1}{\gamma}} \right) \quad \square T_{1f} = \frac{T_0}{2} a^{\frac{\gamma}{(\gamma-1)}} \left(3 - a^{\frac{1}{(1-\gamma)}} \right)$$

$$3.5. \square W_g = \frac{R}{(\gamma-1)} (2T_{1f} + T_{3f} - 3T_0) \quad \square W_g = \frac{R}{(\gamma-1)} (T_{1f} + T_{3f} + T_0)$$

$$\square W_g = \frac{R}{(\gamma-1)} (T_{1f} - T_{3f} + T_0) \quad \square W_g = \frac{R}{(\gamma-1)} (2T_{1f} + 3T_{3f} - 3T_0)$$

$$3.6. \square \Delta S = R \left[\left(\frac{1}{\gamma-1} \right) \ln \frac{T_{1f}}{T_0} + \ln \frac{2V_{1f}}{V_0} \right] \quad \square \Delta S = 2R \left[\left(\frac{1}{\gamma-1} \right) \ln \frac{T_{1f}}{T_0} + \ln \frac{V_{1f}}{V_0} \right]$$

$$\square \Delta S = R \left[\left(\frac{\gamma}{\gamma-1} \right) \ln \frac{T_{1f}}{T_0} + \ln \frac{V_{1f}}{V_0} \right] \quad \square \Delta S = 2R \left[\ln \frac{T_{1f}}{T_0} + \ln \frac{V_{1f}}{V_0} \right]$$

$$3.7. \square S_p = 0 \quad \square S_p = \Delta S \quad \square S_p = -\Delta S \quad \square S_p = 2R \ln \frac{T_{1f}}{T_0}$$

4. Machine frigorifique :

$$4.1. \square S_A - S_{A_0} = c_l \frac{T_1 - T_0}{T_0} \quad \square S_A - S_{A_0} = c_l \ln \frac{T_0}{T_1}$$

$$\square S_A - S_{A_0} = c_l \ln \frac{T_1}{T_0} \quad \square S_A - S_{A_0} = c_l \ln \frac{T_1 - T_0}{T_0}$$

$$4.2. \square S_B - S_{A_0} = x_B \frac{l_0}{T_0} \quad \square S_B - S_{A_0} = (x_B - x_C) \frac{l_0}{T_0}$$

$$\square S_B - S_{A_0} = (x_B + x_C) \frac{l_0}{T_0} \quad \square S_B - S_{A_0} = x_B \frac{l_0}{T_0} \ln \frac{T_0}{T_1}$$

$$4.3. \square x_B = c_l \frac{T_0}{l_0} \ln \frac{T_1 - T_0}{T_0} \quad \square x_B = c_l \frac{T_1 - T_0}{l_0} \ln \frac{T_1}{T_0}$$

$$\square x_B = c_l \frac{T_1}{l_0} \ln \frac{T_1}{T_0} \quad \square x_B = c_l \frac{T_0}{l_0} \ln \frac{T_1}{T_0}$$

$$\begin{aligned}
 4.4. \quad \square x_C &= c_l \frac{T_0}{l_0} \ln \frac{T_1}{T_0} + \frac{l_1 T_0}{l_0 T_1} & \square x_C &= c_l \frac{T_0}{l_0} \ln \frac{T_1 - T_0}{T_0} + \frac{l_0 T_0}{l_1 T_1} \\
 \square x_C &= c_l \frac{T_1 - T_0}{l_0} \ln \frac{T_1}{T_0} + \frac{l_1 T_1}{l_0 T_0} & \square x_C &= c_l \frac{T_1}{l_0} \ln \frac{T_1}{T_0} + \frac{T_0}{T_1} \\
 4.5. \quad \square Q_1 &= l_1 \frac{T_1}{T_0} & \square Q_1 &= l_1 \frac{T_1 - T_0}{T_0} & \square Q_1 &= -l_1 & \square Q_1 &= l_1 \frac{T_1 - T_0}{T_1} \\
 4.6. \quad \square Q_0 &= l_0 \frac{T_1}{T_0} & \square Q_0 &= l_1 \frac{T_0}{T_1} & \square Q_0 &= l_0 \frac{T_1 - T_0}{T_1} & \square Q_0 &= l_1 \frac{T_1 - T_0}{T_0} \\
 4.7. \quad \square W &= l_1 \left(\frac{T_1 - T_0}{T_0} \right) & \square W &= l_0 \left(\frac{T_0}{T_1} \right) & \square W &= l_0 \left(\frac{T_1}{T_0} \right) & \square W &= l_1 \left(\frac{T_1 - T_0}{T_1} \right) \\
 4.8. \quad \square \eta &= 0,85 & \square \eta &= 13,4 & \square \eta &= 0,72 & \square \eta &= 5,3
 \end{aligned}$$

3^{me} partie
Électronique

5. Fréquence-mètre à "pont d'impédance"

$$\begin{aligned}
 5.1 \quad \square E_{th} &= \frac{Z_1 - (n-1)Z_2}{n(Z_1 + Z_2)} E & \square E_{th} &= \frac{Z_1 - nZ_2}{(n+1)(Z_1 + Z_2)} E \\
 \square E_{th} &= \frac{Z_2 - nZ_1}{Z_1 + Z_2} E & \square E_{th} &= \frac{Z_2 - (n+1)Z_1}{Z_1 + Z_2} E \\
 5.2 \quad \square Z_{th} &= \frac{nR}{n+1} + \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} & \square Z_{th} &= R + n \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} \\
 \square Z_{th} &= (n+1)R + 2 \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} & \square Z_{th} &= \frac{n+1}{n} R - \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} \\
 5.3 \quad \square \omega_0^2 &= \frac{1}{nR_1 R_2 C_1 C_2} & \square \omega_0^2 &= \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \\
 \square \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} &= n & \square \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_1}{C_2} &= n \\
 5.4 \quad \square N_0 &= 12,74 \text{ kHz} & \square N_0 &= 120 \text{ kHz} & \square N_0 &= 60 \text{ kHz} & \square N_0 &= 6,37 \text{ kHz}
 \end{aligned}$$

6. Étude d'un déphaseur :

$$\begin{aligned}
 6.1 \quad \square T &= \frac{R_1 - jrR_2C\omega}{R_1 + jrR_1C\omega} & \square T &= \frac{R_2 - jrR_1C\omega}{R_2 + jrR_1C\omega} \\
 \square T &= \frac{r - jR_1R_2C\omega}{r + jR_1R_2C\omega} & \square T &= \frac{R_1 - jR_1R_2C\omega}{R_2 + jR_1R_2C\omega} \\
 6.2 \quad \square R_2 &= 2000 \Omega & \square R_2 &= 500 \Omega & \square R_2 &= 750 \Omega & \square R_2 &= 1000 \Omega \\
 6.3 \quad \square |T| &= \frac{1}{2} & \square |T| &= 1 & \square |T| &= \sqrt{2} & \square |T| &= \frac{\sqrt{2}}{2} \\
 6.4 \quad \square \tan\left(\frac{\varphi}{2}\right) &= 1 - rC\omega & \square \tan\left(\frac{\varphi}{2}\right) &= R_2C\omega - 1 \\
 \square \tan\left(\frac{\varphi}{2}\right) &= -rC\omega & \square \tan\left(\frac{\varphi}{2}\right) &= -R_1C\omega
 \end{aligned}$$

6.5 $\square r = 2000 \Omega$

$\square r = 5000 \Omega$

$\square r = 750 \Omega$

$\square r = 1000 \Omega$

6.6 $\square Z_e = 1000(1 + j) \Omega$

$\square Z_e = 500j \Omega$

$\square Z_e = 500(1 - j) \Omega$

$\square Z_e = 1000 \Omega$