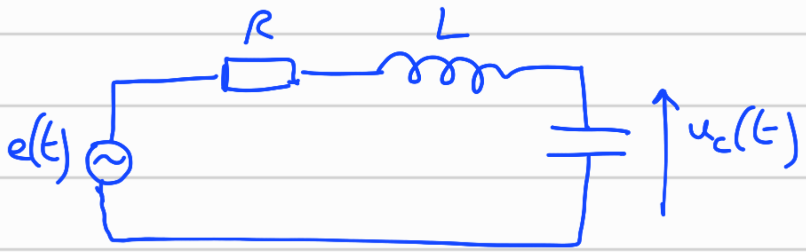
DS 5 Correction

Exercice 1 :



$$\underline{u_c}(t) = \underline{e}(t) \frac{1/jC\omega}{R + jL\omega + 1/jC\omega}$$

$$\underline{u_c}(t) = \underline{e}(t) \frac{1}{1 - LC\omega^2 + jRC\omega}$$

$$\underline{U_{cm}} = \frac{1}{1 - LC\omega^2 + jRC\omega} E_m$$

On pose $\boxed{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}}$ et $\frac{1}{Q\omega_0} = RC$

$$\Rightarrow Q = \frac{1}{RC\omega_0} = \frac{1}{RC} \cdot \sqrt{LC}$$

$$\boxed{Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}}$$

Q2. Il y a résonance si $U_{cm} = |\underline{U_{cm}}|$ présente un maximum.

$$U_{cm} = \frac{E_m}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{\omega}{Q\omega_0}\right)^2}}$$

$$\Rightarrow \quad U_{cm} = \frac{E_m}{\sqrt{(1-x)^2 + \frac{x}{Q^2}}} = E_m f(x)^{-1/2}$$

$$U'_{cm} = -\frac{1}{2} E_m f(x)^{-3/2} \cdot f'(x).$$

U'_{cm} est du signe de $-f'(x)$, avec

$$f'(x) = -2(1-x) + \frac{1}{Q^2}$$

$$f'(x_r) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad 1 - x_r = \frac{1}{2Q^2}$$

$$\Leftrightarrow \quad x_r = 1 - \frac{1}{2Q^2}$$

Or $x > 0 \Rightarrow x_r$ existe si $1 - \frac{1}{2Q^2} > 0$

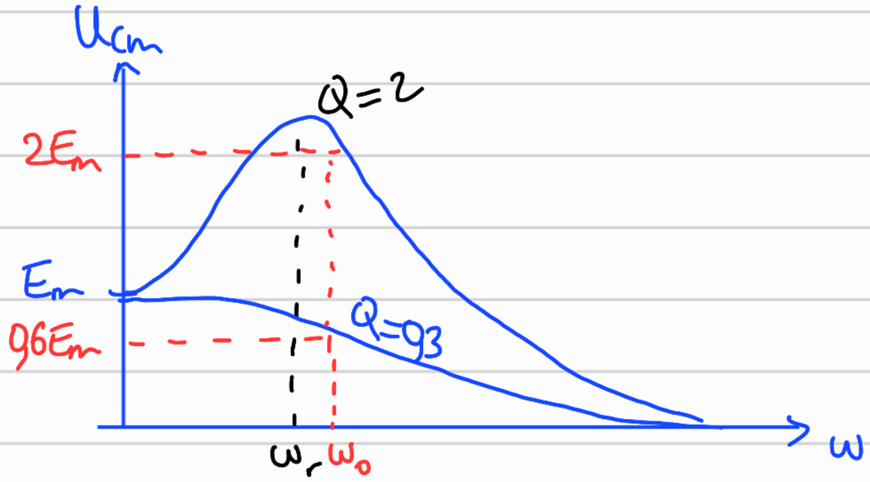
$$\Leftrightarrow \quad 2Q^2 > 1$$

$$\Leftrightarrow \quad \boxed{Q > \frac{1}{\sqrt{2}}}$$

Q3. $\omega_r = \omega_0 \sqrt{x_r} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}}$

Q4. * Pour $\omega = \omega_0$ $U_{cm} = Q E_m$.

* Pour $\omega = 0$ $U_{cm} = E_m$



Q5.

Q5 Avec un facteur de qualité supérieur à $1/\sqrt{2}$ on a un phénomène de résonance

En se plaçant à ω_0 avec $Q=5$ on a bien $U_{cm} = 5.12 = 60\,V$.

Cela n'est pas contradictoire avec la loi des mailles. Il faut l'écrire pour les grandeurs instantannées et non les valeurs moyennes.

$$\underline{U_{cm}} = \frac{1}{1-\frac{\omega^2}{\omega_0^2}+j\frac{1}{Q}\frac{\omega}{\omega_0}} E_m$$

Pour $\omega = \omega_0$ $\quad U_{cm} = -jQE_m$

Avec $\underline{u_L}(t) = L\frac{di}{dt} = LC\frac{du_c}{dt} = LC.(j\omega)(j\omega)\,\underline{u_c}$

$\underline{u_L}(t) = -LC\omega^2\,\underline{u_c}$

Pour $\omega = \omega_0$ $\underline{u_L}(t) = -\underline{u_C} = jQE_m$

Et $\underline{u_R}(t) = RC\dfrac{d\underline{u_C}}{dt} = RC(j\omega)\underline{u_C}$

Pour $\omega = \omega_0$ $\underline{u_R}(t) = -RjQE_m(jC\omega)e^{j\omega t}$

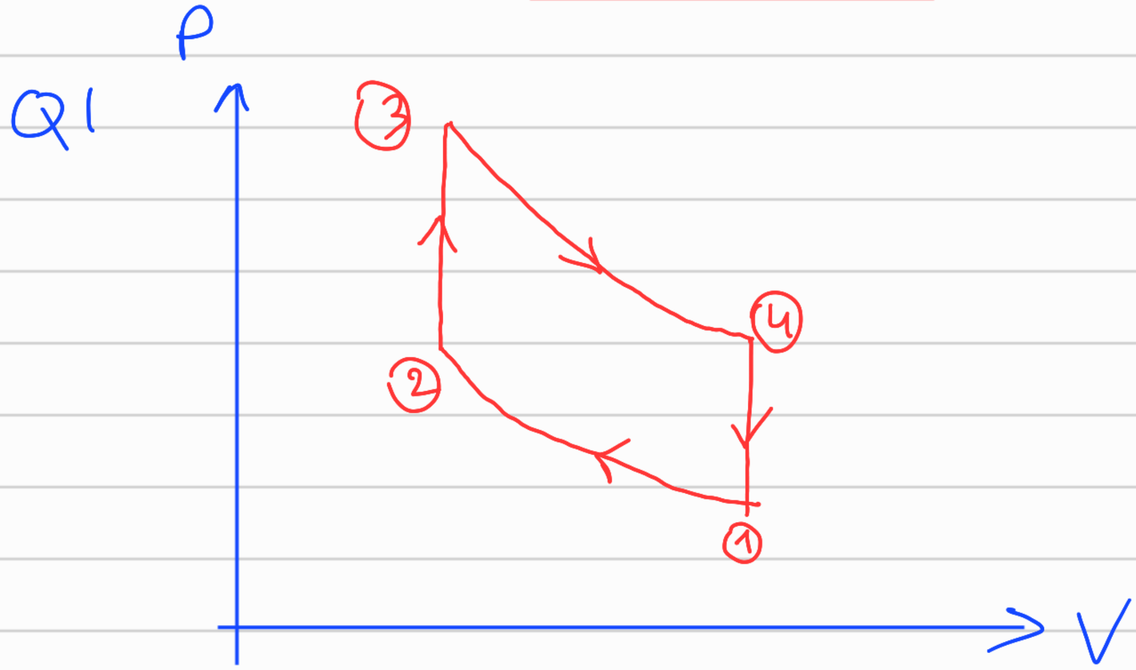
$$= \frac{R}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} \cdot C\frac{1}{\sqrt{LC}}e^{j\omega t}E_m$$

$$= \underline{E_m}$$

On a donc bien $\underline{e}(t) = \underline{u_R} + \underline{u_L} + \underline{u_C}$

Exercice 2 :

Q1



$1 \to 2$: compression isotherme = branche d'hyperbole vers $P \nearrow$.

$2 \to 3$: échauffement isochore = segment vertical vers $P \nearrow$

$3 \to 4$: détente isotherme = branche d'hyperbole vers $P \searrow$.

$4 \to 1$: refroidissement isochore = segment vertical vers $P \searrow$.

Q2. Par définition $dU = nC_{vm}\,dT$

et $dH = nC_{pm}\,dT$

avec $H = U + PV$

$$d(U+PV) = nC_{pm}\,dT$$

$$dU + d(PV) = nC_{pm}\,dT$$

$$nC_{vm}\,dT + nR\,dT = nC_{pm}\,dT$$

$$C_{vm} + R = C_{pm}$$

Or $\gamma = \dfrac{C_{pm}}{C_{vm}}$

$$\Rightarrow \quad C_{vm} + R = \gamma C_{vm}$$

$$C_{vm}(1-\gamma) = -R$$

$$C_{vm} = \frac{R}{\gamma - 1}$$

d'où $\boxed{C_v = \dfrac{nR}{\gamma-1}}$

Q3. $\delta W = -P_{ext}\,dV$

Or la transformation $1 \rightarrow 2$ est réversible $\Rightarrow$ il y a équilibre mécanique à chaque instant
$\Rightarrow P_{ext} = P$

$$\delta W = -P\,dV$$

$$W_{12} = \int -P dV$$

Or pour un gaz parfait $PV = nRT$

$$\Rightarrow P = \frac{nRT}{V}$$

$$W_{12} = -nRT_1 \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = -nRT_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$\boxed{W_{12} = nRT_1 \ln r}$$

Q4. Pour un GP subissant une transformation isotherme $\Delta U = 0$ donc d'après le 1er principe $Q = -W$.

$$\boxed{Q_{12} = -nRT_1 \ln r}$$

Q5. La transformation $1 \to 2$ étant une compression $W_{12} > 0$ (le gaz reçoit du travail)
Et donc $Q_{12} < 0$ (le gaz cède du transfert thermique.

Q6. La transformation $2 \to 3$ est isochore donc $W_{23} = 0$ et

$$\Delta U_{23} = Q_{23} = \frac{nR}{\gamma - 1}(T_3 - T_2)$$

Or $T_1 = T_2$ ($1 \to 2$ isotherme)

$$\Rightarrow \boxed{Q_{23} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_3 - T_1)}$$

Or $T_3 > T_1$ (échauffement)

$\Rightarrow Q_{23} > 0$.

Q7. $3 \to 4$ est une isotherme $\Rightarrow$ idem $1 \to 2$

$$\boxed{W_{34} = -nRT_3 \ln r}$$

Q8. $Q_{34} = -W_{34}$ ($\Delta U = 0$ car isotherme)

$$\Rightarrow \boxed{Q_{34} = nRT_3 \ln r}$$

Q9. $W_{34} < 0$ car c'est une détente

et $Q_{34} > 0$ (le gaz reçoit du transfert thermique)

Q10. $Q_{41} = \Delta U_{41}$ car $W_{41} = 0$ (isochore)

$$Q_{41} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_1 - T_4)$$

or $T_3 = T_4$

$$\Rightarrow \boxed{Q_{41} = \frac{nR}{\gamma-1}(T_1 - T_3)}$$

$Q_{41} < 0$ car $T_1 < T_3$.

Q11. $\Delta U_{total} = Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{41}$

$$+ W_{12} + W_{23} + W_{34} + W_{41}$$

$$= -nRT_1 \ln r + \frac{nR}{\gamma-1}(T_3 - T_1) + nRT_3 \ln r$$

$$+ \frac{nR}{\gamma-1}(T_1 - T_3) + nRT_1 \ln r + 0 - nRT_3 \ln r + 0$$

$= 0$ ce qui est normal car le gaz effectue un cycle il revient dans son état initial $\Rightarrow$ ses fonctions d'état n'ont pas varié sur 1 cycle.

Exercice 3 :

Q1. L'AO est idéal et fonctionne en régime linéaire donc $V_+ = V_-$ et $i_+ = i_- = 0$.

$$\Rightarrow V_e + \underbrace{R_1 i_+}_{=0} = e_1 + u_{R_3}$$

D'après le pont diviseur de tension :

$$u_{R_3} = (V_s - e_1) \cdot \frac{R_3}{R_2+R_3}$$

$$\Rightarrow V_e = e_1 + (V_s - e_1)\frac{R_3}{R_2+R_3}$$

$$\text{Soit } V_e = e_1 \frac{R_2}{R_2+R_3} + V_s \frac{R_3}{R_2+R_3}$$

$$\boxed{V_e = \frac{e_1 R_2 + V_s R_3}{R_2 + R_3}}$$

Q2. $$V_e = \frac{0{,}100 \cdot 6{,}5 \cdot 10^3 + 6{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 10^3}{7{,}5 \cdot 10^3} = \underline{0{,}95\ V}$$

Q3. D'après l'énoncé $F = \dfrac{C \cdot V_e}{K}$

AN : $$F = \frac{8{,}0 \cdot 10^{-13} \cdot 0{,}95}{1{,}0 \cdot 10^{-12}} = \underline{0{,}76\ N}$$

Q4. D'après le montage $V_+ = V_- = 0$
(entrée + reliée à la masse).

$$\underline{i} = -\underline{V_s} \cdot \underline{Y_{2eq}} = -\underline{V_s}\left(\frac{1}{R_2} + jC_2\omega\right)$$

$$\underline{i} = \underline{V_e}\ \underline{Y_{1eq}} = \underline{V_e}\left(\frac{1}{R_1 + \frac{1}{jC_1\omega}}\right)$$

$$-\underline{V_s}\left(\frac{1}{R_2} + jC_2\omega\right) = \underline{V_e}\left(\frac{1}{R_1 + \frac{1}{jC_1\omega}}\right)$$

$$\underline{V_s} = \underline{V_e}\ \frac{-1}{\left(R_1 - \frac{j}{C_1\omega}\right)\left(\frac{1}{R_2} + jC_2\omega\right)}$$

$$= \underline{V_e}\ \frac{-1}{\frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + j\left(R_1C_2\omega - \frac{1}{R_2C_1\omega}\right)}$$

$$= \underline{V_e}\ \frac{-\frac{1}{R_1/R_2 + C_2/C_1}}{1 + j\left(\frac{R_1C_2\omega - 1/R_2C_1\omega}{\frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}}\right)}$$

$$= \underline{V_e}\ \frac{-\frac{1}{R_1/R_2 + C_2/C_1}}{1 + j\left(\frac{R_1R_2C_1C_2}{R_1C_1 + R_2C_2}\,\omega - \frac{R_2C_1}{R_2C_1(R_1C_1 + R_2C_2)}\,\frac{1}{\omega}\right)}$$

$$= \underline{V_e}\ \frac{-\frac{1}{R_1/R_2 + C_2/C_1}}{1 + j\left(\frac{R_1R_2C_1C_2}{R_1C_1 + R_2C_2}\,\omega - \frac{1}{R_1C_1 + R_2C_2}\cdot\frac{1}{\omega}\right)}$$

On pose $A = \dfrac{1}{\dfrac{R_1}{R_2} + \dfrac{C_2}{C_1}}$

$\omega_1 = \dfrac{R_1C_1 + R_2C_2}{R_1R_2C_1C_2}$

$\omega_2 = \dfrac{1}{R_1C_1 + R_2C_2}$

$$\boxed{\underline{V_s} = -\dfrac{A\underline{V_e}}{1+j\left(\dfrac{\omega}{\omega_1} - \dfrac{\omega_2}{\omega}\right)}}$$

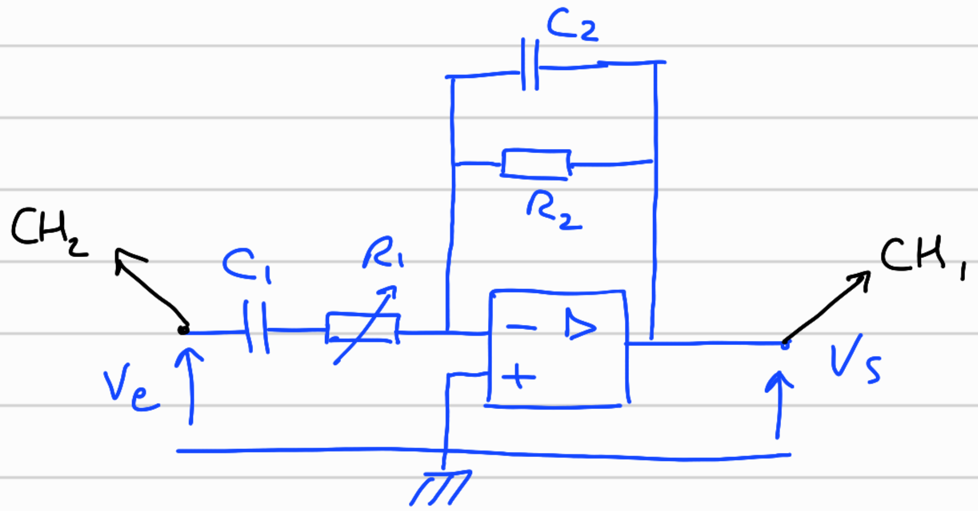
Q3. V_s est maximal à V_e fixé lorsque $\left|\dfrac{A}{1+j\left(\dfrac{\omega}{\omega_1} - \dfrac{\omega_2}{\omega}\right)}\right|$ est maximal, donc lorsque $\dfrac{\omega}{\omega_1} - \dfrac{\omega_2}{\omega} = 0$

$\Leftrightarrow \omega_{max}^2 = \omega_1\omega_2$ or $\omega > 0$

$\Leftrightarrow \boxed{\omega_{max} = \sqrt{\omega_1\omega_2}}$

Q4. Pour observer que les 2 signaux sont en opposition de phase, il faut observer les tensions correspondantes à l'oscilloscope et vérifier que le déphasage entre elles vaut π. (le minimum de l'une correspond au maximum de l'autre). (ou mode XY de l'oscilloscope $\Rightarrow$ segment \\ )

On utilise un oscilloscope branché selon :



Q7. R_1 est réglée telle que $\varphi_s - \varphi_e = \pi$

$$\Rightarrow \arg(\underline{V_s}) - \arg(\underline{V_e}) = \pi$$

$$\arg\left(\frac{\underline{V_s}}{\underline{V_e}}\right) = \pi$$

or $$\arg\left(\frac{\underline{V_s}}{\underline{V_e}}\right) = \arg\left(\frac{-A}{1+j\left(\frac{\omega}{\omega_1} - \frac{\omega_2}{\omega_1}\right)}\right)$$

$$\underbrace{\arg(-A)}_{=\pi} - \arg\left(1+j\left(\frac{\omega}{\omega_1} - \frac{\omega_2}{\omega}\right)\right) = \pi$$

$$\Rightarrow \arg\left(1+j\left(\frac{\omega}{\omega_1} - \frac{\omega_2}{\omega}\right)\right) = 0$$

$$\Rightarrow \omega = \sqrt{\omega_1 \omega_2} = \omega_{max}$$

$$\Rightarrow \boxed{f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\omega_1 \omega_2}}$$

AN : $\omega_1 = \dfrac{10^4 . 50.10^{-9} + 10^5 . 5.10^{-9}}{10^4 . 10^5 . 50.10^{-9} . 5.10^{-9}} = 4,0.10^3 \text{ rad.s}^{-1}$

$$\omega_2 = \frac{1}{10^4 . 50.10^{-9} + 10^5 . 5.10^{-9}} = 1,0.10^3 \text{ rad.s}^{-1}$$

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{4,0.10^6} = \underline{3,2.10^2 \text{ Hz}}.$$

Q8. le terme $\dfrac{d^2z}{dt^2}$ correspond à l'accélération du centre d'inertie de la poutre.

Q9. $-kz$ représente une force de rappel élastique (la poutre est flexible, elle possède une certaine élasticité).

$-\alpha \dfrac{dz}{dt}$ représente une force de frottement fluide, ce terme modélise l'action de l'air sur la poutre en mouvement.

Q10. En complexes, l'équation devient :

$$m \frac{d^2z}{dt^2} + kz + \alpha \frac{dz}{dt} = F_0 e^{j\omega t}$$

$$-m \underline{Z_m} \omega^2 e^{j\omega t} + k \underline{Z_m} . e^{j\omega t} + \alpha \underline{Z_m} (j\omega) e^{j\omega t} = F_0 e^{j\omega t}$$

$$\underline{Z_m}\left(-m\omega^2 + k + \alpha j\omega\right) = F_0$$

$$\boxed{\underline{Z_m} = \frac{F_0}{-m\omega^2 + k + \alpha j\omega}}$$

Q11. Pour $\omega = \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ on a

$$\underline{Z_m} = \frac{F_0}{-m \cdot \frac{k}{m} + k + \alpha j\sqrt{\frac{k}{m}}} = \frac{-jF_0}{\alpha}\sqrt{\frac{m}{k}} = -j\frac{F_0}{\alpha\omega_0}$$

$\arg(\underline{Z_m}) = -\frac{\pi}{2}$ $\Rightarrow$ la poutre oscille à la même pulsation que la force excitatrice mais avec un retard de phase de $\frac{\pi}{2}$ (quadrature de phase retard).

Cela signifie que Z_m est à sa valeur maximale $1/4$ de période après que la force F_e soit passée par son maximum. (Z_m est à sa valeur moyenne lorsque F_e est maximale).

Q12. $z(t) = Re(\underline{z}) = Re\left(\underline{Z_m}\, e^{j\omega_0 t}\right)$

$$= Re\left(-j\frac{F_0}{\alpha\omega_0}\left(\cos\omega_0 t + j\sin(\omega_0 t)\right)\right)$$

$$= \frac{F_0}{\alpha\omega_0}\sin(\omega_0 t).$$

On détermine alors $v_z(t) = \frac{dz}{dt}$:

$$\boxed{v_z(t) = \frac{F_0}{\alpha}\cos(\omega_0 t)}$$

Q13. C_0 représente la capacité du quartz piezo électrique (il peut accumuler des charges électriques sur ses 2 faces).

Q14. $[\beta] = \frac{[\text{force}]}{[\text{tension}]}$ et $[v_z] = L.T^{-1}$

or $[\text{force}] = M.L.T^{-2} \Rightarrow [\beta v_z] = \frac{M.L^2.T^{-3}}{[\text{tension}]}$

et $[\text{tension}] = [R].I$

or $ML^2T^{-2} = [\text{énergie}] = [R].I^2T$

$$\Rightarrow [\beta v_z] = \frac{[R]I^2.T.T^{-1}}{[R].I}$$

Soit $\boxed{[\beta v_z] = I}$

Q15. $\underline{V} = \underline{Z_{eq}} . \beta \underline{v_z}$

avec $\underline{Z_{eq}} = \frac{1}{\frac{1}{R} + jC_0\omega_0}$

$$\underline{V} = \frac{\beta}{\frac{1}{R} + jC_0\omega_0} \cdot \frac{F_0}{\alpha} e^{j\omega_0 t}.$$

$$\underline{V_m} = \frac{\beta F_0}{\frac{\alpha}{R} + j\alpha C_0\omega_0}$$

$$\boxed{\underline{V_m} = \frac{\beta R F_0}{\alpha + j\alpha R C_0 \omega_0}}$$

Q16. $$P(t) = \frac{V(t)^2}{R}$$

avec $$V(t) = Re\left(\underline{V_m}\, e^{j\omega_0 t}\right) = Re\left(V_m e^{j\phi} e^{j\omega_0 t}\right)$$

$$V(t) = V_m \cos(\omega_0 t + \phi).$$

$$\Rightarrow \quad \langle P(t) \rangle = \frac{V_m^2 \cos^2(\omega_0 t + \phi)}{R}$$

or $$\langle \cos^2(\omega_0 t + \phi) \rangle = \frac{1}{2}$$

et $$V_m = |\underline{V_m}| = \frac{\beta R F_0}{\alpha\sqrt{1 + R^2 C_0^2 \omega_0^2}}$$

$$\boxed{\langle P(t) \rangle = \frac{\beta^2 F_0^2 R}{2\alpha\left(1 + R^2 C_0^2 \omega_0^2\right)}}$$

La puissance moyenne récupérée par le dipôle est donc bien proportionnelle à F_0^2.

Exercice 4 :

Q1. Pour N particules de gaz parfait monoatomique de masse m_1 :

$$U = E_{c\,micro} \quad \text{(on néglige } E_{p\,int}\text{)}.$$

Or $E_{c\,micro} = \frac{1}{2} N m_1 \langle v^2 \rangle$

Or $\frac{1}{2} m_1 \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} k_B T$

$$\Rightarrow \quad U = \frac{3}{2} N k_B T$$

et $n = \frac{N}{\mathcal{N}_A} \quad \Rightarrow \quad U = \frac{3}{2} n . \underbrace{\mathcal{N}_A k_B}_{R} T$

$$U = \frac{3}{2} n R T$$

Par définition $C_{v,m} = \frac{dU_m}{dT} = \frac{d}{dT}\left(\frac{3}{2} R T\right)$

$$\boxed{C_{mono,vm} = \frac{3}{2} R}$$

Q2. Par définition $C = n . C_{v_m}$

Or pour un gaz parfait diatomique
$C_{v,m} = \frac{5}{2} R$ et $n = \frac{PV}{RT}$

D'où $$\boxed{C = \frac{P_{atm} . V}{T} . \frac{5}{2}}$$

AN $C = \frac{10^5 . 10.7,25^2}{283} = \underline{1,5 . 10^5 \text{ J.K}^{-1}}$

Q3. D'après la loi d'Ohm, le radiateur reçoit la puissance électrique

$$P(t) = u(t) . i(t) = \frac{u^2(t)}{r}$$

Il transfère intégralement cette puissance à l'air de la pièce sous forme de chaleur : $P_J(t) = P(t)$

D'où $\langle P_J(t) \rangle = \frac{\langle u^2(t) \rangle}{r}$

Or $\langle u^2(t) \rangle = U_{eff}^2 \Rightarrow \langle P_J(t) \rangle = \frac{U_{eff}^2}{r}$

$$\Rightarrow \boxed{P_J = \frac{U_{eff}^2}{r}}$$

Q4. L'air de la pièce reçoit puissance thermique

$$P_{th} = P_J - |P_{t,th}| \quad \text{(signe } \ominus \text{ car } T > T_0 \text{ donc la puissance est cédée)}$$

$$\boxed{P_{th} = \frac{U_{eff}^2}{r} - kS(T - T_0)}$$

Q5. En régime permanent $P_{th,\text{pièce}} = 0$ car $T = cte$.

$$\frac{U_{eff}^2}{r} = kS(T_1 - T_0) \qquad \boxed{r = \frac{U_{eff}^2}{kS(T_1 - T_0)}}$$

AN : $r = \dfrac{220^2}{5{,}6 \cdot 2\,(293 - 273)} = \underline{2{,}2 \cdot 10^{2}\ \Omega}$

Q6. Bilan d'énergie entre t et $t+dt$ pour le système {air de la pièce} :

$$C\,dT = \left(\frac{U_{eff}^2}{r} - kS(T - T_0)\right) dt.$$

$$\boxed{\frac{dT}{dt} + \frac{kS}{C}T = \frac{U_{eff}^2}{rC} + \frac{kST_0}{C}}$$

Q7. Dans l'équation différentielle du 1^{er} ordre obtenue, on identifie la constante de temps τ :

$$\boxed{\tau = \frac{C}{kS}}$$

AN : $\tau = \frac{150.10^3}{5,6 . 2} = \underline{1,3.10^4 \text{ s}} \approx \underline{3h43 \text{ min}}$

τ est homogène a un temps, il donne un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire (régime permanent atteint pour $t \approx 5\tau$).

Q8. $\frac{dT}{dt} + \frac{T}{\tau} = \frac{U_{eff}^2}{rC} + \frac{kST_0}{C}$

$$T(t) = Ae^{-t/\tau} + \frac{C}{kS}\left(\frac{U_{eff}^2}{rC} + \frac{kST_0}{C}\right)$$

$$T(t) = Ae^{-t/\tau} + \frac{U_{eff}^2}{krS} + T_0$$

Pour $t = 0$ $T(0) = T_i$

$$T_i = A + \frac{U_{eff}^2}{krS} + T_0$$

$$A = T_i - T_0 - \frac{U_{eff}^2}{krS} \quad \text{or on a} \quad r = \frac{U_{eff}^2}{kS(T_1 - T_0)}$$

$$\Rightarrow \frac{U_{eff}^2}{krS} = T_1 - T_0 \quad \Rightarrow A = T_i - T_0 - T_1 + T_0 = T_i - T_1$$

$$\boxed{T(t) = (T_i - T_1)e^{-t/\tau} + T_1}$$

Q9. 1^{er} principe appliqué à l'air de la pièce entre t et $t+dt$:

$$dU = W + Q = \delta Q$$

$$dU = -P_f\, dt + 20\, P_1\, dt.$$

et $dU = n\, C_{vm\,di}\, dT$

avec $n = \dfrac{P_{atm}(V - 20\, v_{1pers})}{RT_1}$

Or $P_f = kS(T - T_0)$

$$n\, C_{vm,di}\, dT = \left(-kS(T - T_0) + 20\, P_1 + P_J\right) dt$$

que l'on met sous la forme

$$n C_{vm,di}\, dT + kST\, dt = (kST_0 + 20P_1 + P_J)\, dt$$

$$\frac{dT}{dt} + \frac{kS}{n C_{vm} di} T = \frac{kST_0 + 20P_1 + P_J}{n C_{vm} di}$$

AN : $n = \frac{10^5(10.7.2{,}5 - 20.0{,}07)}{8{,}314 . 293} = 7126 \text{ mol}$

$$\tau = \frac{7126 . 5/2 . 8{,}314}{5{,}6 . 2} = 13224 s.$$

Solution particulière : $T_f = T_0 + \frac{20P_1 + P_J}{kS}$

AN : $T_f = 273 + \frac{20.10^5/3600 + 220^2/430}{5{,}6 . 2}$

$$T_f = 333 \text{ K}$$

Solution générale : $T = Ae^{-t/\tau} + T_f$

Condition initiale : $T(0) = T_1$

$T_1 = A + T_f \Rightarrow A = 293 - 333 = -40 K$

$$\boxed{T(t) = 333 - 40 e^{-\frac{t}{13224}}}$$

Pour $t = 2h = 7200$ s

$T(3600) = \underline{310 \text{ K}}$

$\Rightarrow$ Nécessité d'aérer la pièce et/ou d'avoir une régulation du chauffage.