

II.B.0. en terme dimension : $[Q_{O_2}] = L^3 T^{-1}$; $[f_C] = T^{-1}$; $[V] = L^3$

On en conclut que $Q_{O_2} = n f_C V$; il faut prendre $n=60$ si Q_{O_2} est en $L.h^{-1}$; f_C en min^{-1} ; V en L .

II.B.1. On sait que ($V \propto M_C$), on en déduit ($Q_{O_2} \propto f_C M_C \propto M_C^{3/4}$) On en déduit que ($f_C \propto M_C^{-1/4}$)

En prenant la référence donnée : $f_C = k M_C^{-1/4}$ avec $k=70^{5/4} \approx 202,5$

II.B.2. On obtient en bat par min : $f_C = 580$ (souris) ; 170 (lapin) ; 27 (éléphant)

La tendance est bien respectée mais pessimiste car systématiquement sous évaluée.

II.B.3. On écrit $\tau_{vie} = k' M_C^\delta$ qu'on peut traduire par la relation affine $\ln(\tau_{vie}) = \ln(k') + \delta \ln(M_C)$

On trace alors la fonction $\ln(\tau_{vie}) = f(\ln(M_C))$ qui sera de pente δ . On obtient 3 points relativement bien alignés et une pente d'environ $1/4$ qui rappelle le lien entre f_C et M_C comme si la durée de vie était la même en nombre de battements de cœurs pour tous les mammifères.

Si l'homme vérifiait cette loi sa durée de vie serait de 31 ans, ce qui n'est pas vérifié (ouf)

II.B.6. (a) Le débit dans un tuyau de rayon R s'exprime $Q = \pi R^2 v$ et celui dans N tuyaux $Q_S = \pi R^2 N v$

D'où $Q_S(\lambda) = Q_S(1) \lambda^{2b+n} = Q_S(1) \lambda^{n+4b-a}$ il faut donc respecter $n+4b-a = 2b+n$ D'où $a = 2b$

II.B.6. (b) Le volume total des vaisseaux est $V' = \pi R^2 N L \alpha M_C$ d'où $V'(\lambda) = V'(1) \lambda^{2b+a+n} \alpha$

$M_C(\lambda) = M_C(1) \lambda^3$ On en déduit que $2b+a+n = 3$ d'où $2a+n = 3$

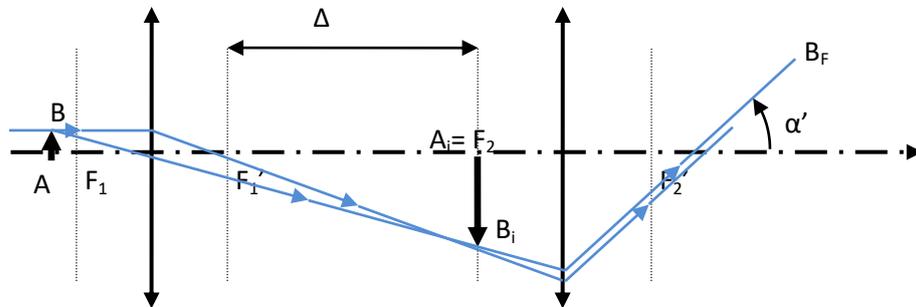
II.B.6. (c) D'où $Q_S(\lambda) = Q_S(1) \lambda^{3-a} \propto M_C(\lambda) = M_C(1) \lambda^3$ on en déduit que $Q_S = k'' M_C^\gamma$ où $\gamma = 1 - \frac{a}{3}$

II.B.6. (d) On sait que $\gamma = \frac{3}{4}$ par la proportionnalité entre Q_S et Q_{O_2} .

II.B.6. (e) on en déduit que $a = \frac{3}{4}$; $b = \frac{3}{8}$; $n = \frac{3}{2}$. Un éléphant rose n'est pas une grosse souris verte.

PARTIE B.

Q1. A_2 à l'infini. $A_1 B_1$ sur le plan focal objet de l'oculaire.



Q2. Schéma

Q3. Relation de grandissement avec origine au foyer image sur l'objectif.

Q4. On obtient $\alpha' = \frac{A_1 B_1}{f_2'} = -\frac{\Delta}{f_1' f_2'} h$

Q8. On reprend Q7 $\frac{\varepsilon}{\alpha_m} = \frac{\Delta d_m}{f_1' f_2'}$ d'où

Q5. PR pour d_m , infini ; PP pour $d_m \approx 20-25$ cm.

$\alpha_m = \varepsilon \frac{f_1' f_2'}{\Delta d_m} = \frac{\varepsilon}{G_C}$

Q6. $\alpha \approx \frac{h}{d_m}$

Q9. On exploite une loi d'échelle distance $\approx 30 \mu m$.

Q7. D'où $G_C = \frac{\alpha'}{\alpha} = -\frac{\Delta d_m}{f_1' f_2'}$ A.N $G_C = -130$

Q10. On obtient $\alpha \approx 0,5'$ (d'arc) et $\alpha' = 69'$ (d'arc) les crochets sont non distinguables à l'œil mais bien distingués au microscope.

Pistes de correction

Q11. La lumière bleue est + diffusée d'où la couleur bleue de la plume. Longueur d'onde $\lambda_b \approx 400\text{nm}$ d'où

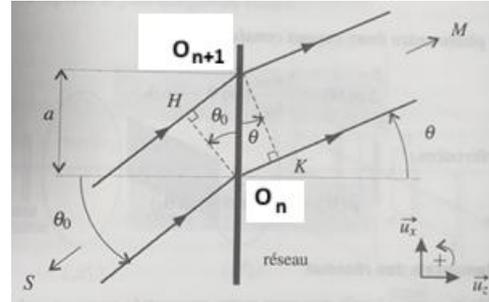
$$\omega_b = \frac{2\pi c}{\lambda_b} \approx 5.10^{15} \text{ rad.s}^{-1}$$

Q12. Les BF passent, les HF sont diffusées. Donc Passe Bas. Le ciel est bleu par diffusion Rayleigh.

PARTIE C.

Q13. Réflexion car « petit miroir »

Q14. Schéma



On observe $HO_{n+1} = a \sin \theta_0$ et $O_n K = a \sin \theta$ on en déduit $\delta(M) = HO_{n+1} - O_n K = a(\sin \theta_0 - \sin \theta)$

Q15. Les interférences totalement constructives sont observées pour $\delta(M) = k\lambda_0$. Alors les directions d'éclairement fort sont obtenues pour $a(\sin \theta_0 - \sin \theta_k) = k\lambda_0$

Q16. Par analogie $\delta(M) = HO_{n+1} - O_n K = a(\sin \theta_0 + \sin \theta)$, les interférences constructives sont obtenues pour $a(\sin \theta_0 + \sin \theta_k) = k\lambda_0$ d'où la relation donnée $(\sin \theta_k + \sin \theta_0) = k \frac{\lambda_0}{a}$

Q17. Observateur A : Pour $k=1$, $\theta_0=0$; $\theta_1=\pi/2$ on observe que $(\sin \theta_1 + \sin \theta_0) = 1 = \frac{\lambda_0}{a}$

Les interférences sont totalement constructives pour $\lambda_0 = a = 0,56\mu\text{m}$ qui correspond bien à une couleur verte.

Observateur B : Pour $k=1$, $\theta_0=0$; $\theta_1=\pi/4$ on observe que $(\sin \theta_1 + \sin \theta_0) = \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{\lambda_0}{a}$

Les interférences sont totalement constructives pour $\lambda_0 = a \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,40\mu\text{m}$ qui correspond bien à une couleur violette.

PARTIE D.

3.1.1. D'une part $F = Ky_f$ d'où $[K]=[F][y_f]^{-1}=(\text{MLT}^{-2})(\text{L}^{-1})=\text{MT}^{-2}$.

D'autre part $K = \frac{Ebh^3}{4L^3}$ d'où $[K]=[E][b][h]^3[L]^{-3}=(\text{MLT}^{-2}.\text{L}^{-2})(\text{L})=\text{MT}^{-2}$

Les deux relations faisant intervenir K sont bien homogènes.

3.1.2. $K=2,5.10^2 \text{ kg.s}^{-2}$.

3.1.3. L'énergie potentielle associée à la force élastique est $E_{p,el}(y_f) = \frac{1}{2} Ky_f^2 + \text{constante}$

3.1.4. L'expression de l'énergie cinétique est $E_C = \frac{1}{2} Mv^2$

Le centre de gravité est au centre de la branche et présente donc un déplacement moitié du déplacement en bout de branche d'où, par le théorème de Thalès, $E_C = \frac{1}{8} M \left(\frac{dy_f}{dt} \right)^2$.

3.1.5. Sans autre force introduite, la force élastique est conservative et donc le système est conservatif.

On en déduit $E_M = E_C + E_{p,el} = \frac{1}{8} M \left(\frac{dy_f}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} Ky_f^2 + \text{constante}$

Par dérivation par rapport au temps : $\frac{dE_M}{dt} = \frac{1}{4}M \left(\frac{d^2 y_f}{dt^2} \right) \left(\frac{dy_f}{dt} \right) + K \left(\frac{dy_f}{dt} \right) y_f$

Puisqu'il y a mouvement et que E_M est conservée (ref galiléen) $\frac{d^2 y_f}{dt^2} + \frac{4K}{M} y_f = 0$

On obtient $\vec{a}_G = \frac{1}{2} \frac{d^2 y_f}{dt^2} \vec{e}_y$. La 2LN avec la force \vec{F}' donne bien par proj sur Oy l'eq du mvt précédente.

On met sous forme canonique $\frac{d^2 y_f}{dt^2} + \omega_o^2 y_f = 0$ d'où $f_o = \frac{\omega_o}{2\pi} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$

Avec $M=1,44\text{kg}$ On obtient $f_o = 4,2\text{Hz}$

3.1.6. On obtient $\frac{d^2 y_f}{dt^2} + \frac{4\lambda}{M} \frac{dy_f}{dt} + \frac{4K}{M} y_f = 0$

par identification $\omega_o = 2\sqrt{\frac{K}{M}}$ $Q = \frac{1}{2\lambda} \sqrt{KM}$

3.1.7. (a) Le régime critique est celui qui présente la durée de transition la plus courte sans oscillations.

3.1.7. (b) Le poly carac est $r^2 + \frac{\omega_o}{Q} r + \omega_o^2$

de discriminant $\Delta = \omega_o^2 \left(\frac{1}{Q^2} - 4 \right)$

Le reg critique est pour $\Delta_c = 0$ et $Q_c = \frac{1}{2}$

3.1.7. (c) Alors $S_H(t) = (At + B) \exp(-\omega_o t)$ A et B déterminées par les conditions initiales

3.1.8. On reprend l'étude $E_M' = E_C' + E_{P,el} = \frac{1}{8} (M + m_o) \left(\frac{dy_f}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} K y_f^2$

alors $\frac{d^2 y_f}{dt^2} + \frac{\omega_o'}{Q'} \frac{dy_f}{dt} + \omega_o'^2 y_f = 0$ avec $\omega_o' = 2\sqrt{\frac{K}{M + m_o}}$ $Q' = \frac{1}{2\lambda} \sqrt{K(M + m_o)}$

On observe que $\frac{\omega_o'}{\omega_o} = \sqrt{\frac{M}{M + m_o}} < 1$ $\frac{Q'}{Q} = \sqrt{\frac{M + m_o}{M}} > 1$ Donc $Q' > Q = 0,5$, on observera un reg pseudo-périodique.

En cas de reg pseudopériodique $\Delta = \omega_o'^2 \left(\frac{1}{Q'^2} - 4 \right) < 1$ et on note $r_{\pm} = -\frac{\omega_o'}{2Q'} \pm \omega_o' \sqrt{\left(1 - \frac{1}{4Q'^2} \right)} = -\frac{1}{\tau} \pm \frac{2\pi}{T}$

D'où $\tau = \frac{2Q}{\omega_o}$ et $T = \frac{2\pi}{\omega_o \sqrt{\left(1 - \frac{1}{4Q^2} \right)}}$

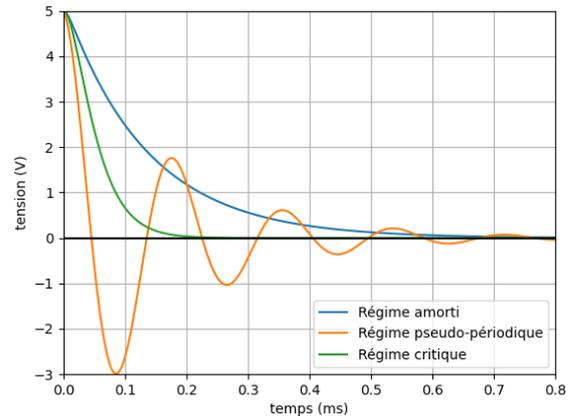
3.1.9. On obtient $\delta = \frac{T}{\tau} = \frac{2\pi}{\sqrt{4Q^2 - 1}} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{m_o}}$ d'où $m_o = M \left(\frac{2\pi}{\delta} \right)^2$ l'A.N donne $m_o = 2,3\text{kg}$ C'est un

gros oiseau !

3.2.1. A est homogène à une accélération en m.s^{-2} .

3.2.2. On traduit en complexe l'équa diff : $\left(-\omega^2 + j \frac{\omega_o \omega}{Q'} + \omega_o'^2 \right) \underline{y}_{f0} = A$

On en déduit $\underline{y}_{f0} = \frac{A}{\omega_o'^2 - \omega^2 + j \frac{\omega_o \omega}{Q'}}$ et $y_{f0} = \left| \underline{y}_{f0} \right| = \frac{A}{\sqrt{\left(\omega_o'^2 - \omega^2 \right)^2 + \left(\frac{\omega_o \omega}{Q'} \right)^2}}$



Pistes de correction

3.2.3. Il y a résonance si la courbe $y_{f0}(\omega)$ présente un maximum.

On étudie les variations de $f(\omega) = (\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \left(\frac{\omega_0 \omega}{Q}\right)^2$

On dérive $\frac{df}{d\omega}(\omega) = 2(-2\omega)(\omega_0^2 - \omega^2) + 2\omega\left(\frac{\omega_0}{Q}\right)^2 = 4\omega\left(\omega^2 - \omega_0^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\omega_0}{Q}\right)^2\right)$

Elle s'annule possiblement en $\omega \neq 0$ si $\omega_0^2\left(1 - \frac{1}{2Q^2}\right) > 0$

Il y a résonance possible si $Q > \frac{1}{\sqrt{2}}$ pour une pulsation de maximum $\omega_r = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}}$

Sans l'oiseau $Q=0,5 < 0,71$ donc pas de résonance. Avec l'oiseau $Q'=0,81 > 0,71$ donc il peut y avoir résonance.

PARTIE E.

4.2.1. On exprime $\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = 2,0 \text{ cm}$ et $\Delta x = c\Delta t = 15 \text{ cm}$

4.2.2. Début du clic retour en $t_0 = 2d/c$ et fin du clic en $t_0' = 2d/c + \Delta t = 2d'/c$.

On en déduit que la précision de localisation est $(d' - d) = \Delta x / 2 = 7,5 \text{ cm}$. Précision relative 7,5%

4.2.3. Dispersion spatiale de la puissance sonore (atténuation géométrique) et Milieu transparent (absorption et dissipation); R_q : coeff de réflexion inf à 1.

4.2.4. Le poisson s'éloigne, un clic émis en $t_k = kT$ est reçu en $t_k' = kT + d/c = kT + (d_0 + vkT)/c$

$T_k' = kT(1 + v_0/c) + d_0/c$. La période $T' = T(1 + v_0/c)$ est plus grande, la fréquence plus petite, on parle d'effet Doppler.

4.2.5. L'onde est une Onde Prog Unidim Non Disp sinusoïdale se propageant dans la dir et le sens de Ox. (car signe -) Alors ω_0 est la pulsation et k_0 le nombre d'onde de cette OPUND. $\omega_0 = 2\pi f_0$; $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$; $k_0 = \frac{\omega_0}{c}$

4.2.6. Puisqu'il n'y a pas déformation $p_1(t') = p_0(t, 0)$

Pour un poisson situé en $x(t') = (d_0 + vt') = c(t' - t)$ d'où $t = t'(1 - v_0/c) - d_0/c$

On obtient donc $p_1(t') = A \cos\left(\omega_0\left(t'\left(1 - \frac{v_0}{c}\right) - \frac{d_0}{c}\right)\right)$ On en déduit $f_1 = f_0\left(1 - \frac{v_0}{c}\right)$

4.2.7. On obtient par analogie avec la question précédente $f_2 = f_1\left(1 - \frac{v_0}{c}\right)$ ou en reprenant $f_2 = \frac{f_1}{1 + \frac{v_0}{c}}$

4.2.8. Décalage Doppler très faible mais peut être exploitable par le dauphin.

En revanche sur un radar routier, on peut sûrement exploiter ce décalage. +Vélocimétrie à ultrasons en médecine

PARTIE F.

1.0. Pour l'oreille humaine, les freq audibles sont de 20Hz à 20kHz les longueurs d'onde dans l'eau sont alors de 75m à 7,5cm.

1.1. Par définition, si c est la vitesse de la lumière dans le vide et v la vitesse de la lumière dans un milieu

d'indice $n = \frac{c}{v}$ Loi de Descartes sur la réfraction entre un milieu 1 et un milieu 2 $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$

Dans le même plan d'incidence + schéma.

1.2. Un dioptre acoustique est une surface délimitant deux milieux dans lesquels l'onde acoustique se déplace à des célérités différentes. On définit alors l'indice acoustique n par rapport à la célérité c dans le milieu par

analogie $n = \frac{c_0}{c}$.

1.3. On exploite les lois de Descartes $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$ qu'on traduit en $\frac{1}{c_1} \sin i_1 = \frac{1}{c_2} \sin i_2$

puis $\sin i_2 = \frac{c_2}{c_1} \sin i_1$ avec $-1 < \sin i_1 < 1$, on en déduit qu'il n'y a de solution que si $\frac{c_2}{c_1} = \sin i_2 = \frac{c_2}{c_1}$.

Il existe dans un angle limite $i_{2,L} = \arcsin\left(\frac{c_2}{c_1}\right)$ donnant la condition $(-i_{2,L} < i_2 < i_{2,L})$ à respecter pour observer un rayon réfracté. Remarque : angles non orientés dans cet exercice.

Pour observer une réflexion totale il faut donc que $|i_2| > \arcsin\left(\frac{c_2}{c_1}\right)$

1.4. Il y aura réflexion totale à l'interface si l'angle i dépasse la valeur $i > \arcsin\left(\frac{c_2}{c_1}\right)$ et on observe que

$$\theta = \frac{\pi}{2} - i, \text{ on déduit } \cos \theta = \sin i > \left(\frac{c_2}{c_1}\right) \text{ et l'angle devra respecter } \theta < \arccos\left(\frac{c_2}{c_1}\right) = 11,4^\circ \text{ Ou } 0,2\text{rad}$$

1.6. Dessin.

2.5. On résout usuellement ce qui donne : $\Delta x(t) = \Delta x_e \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right)$ + graphe.

2.6. On traduit l'équation différentielle $\left(j\omega + \frac{1}{\tau}\right)\underline{\Delta x} = \frac{1}{\tau}\underline{\Delta x}_e$ d'où $\underline{H} = \frac{1}{1 + j\tau\omega} = \frac{H_o}{1 + j\frac{\omega}{\omega_o}}$

Par identification $H_o = 1$; $\omega_o = \frac{1}{\tau}$ qui sera la pulsation de coupure pour ce filtre passe bas d'ordre 1.

2.7. le gain s'exprime $G = |\underline{H}| = \frac{H_o}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)^2}}$ et ω_c telle que $G(\omega_c) = \frac{H_o}{\sqrt{2}}$ on obtient bien $\omega_c = \omega_o$

2.8. Etude asymptotique BF : $G_{dB} = 20 \log H_o = 0$; $\varphi = 0$ HF : $G_{dB} = 20 \log H_o - 20 \log x = -20 \log x$; $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ Freq propre : $G_{dB} = 20 \log H_o - 20 \log 1 = -3dB$; $\varphi = -\frac{\pi}{4}$ C'est bien un Passe bas + diag Bode en amplitude et phase.

2.9. On obtient $f_c = 6,6.10^2 \text{ Hz}$ le chant de basse fréquence s'effectue à la freq de 20Hz, qui n'est donc pas amorti.

3.1. Pour une onde stationnaire : $s(x,t) = s_o \cos(\omega t + \varphi) \cos(kx + \psi)$

3.2. On impose un nœud en $x=0$ soit $|\cos(\psi)| = 0$ on choisit $\psi = -\frac{\pi}{2}$ alors $s(x,t) = s_o \cos(\omega t + \varphi) \sin(kx)$

On impose un nœud en $x=L$ soit $|\sin(kL)| = 0$ ce qui donne $k_n L = n\pi$ alors $k_n = n\frac{\pi}{L}$; $f_n = \frac{c}{2L}n$; $\lambda_n = \frac{2L}{n}$

Graph de $n=1, n=2, n=3$ et hop.

3.3. C'est la tension de la corde qui permet de moduler la freq fondamentale. Pour monter la note d'une octave, il faut doubler la fréquence ce qui donne $f_1' = 2f_1$; $\frac{c'}{2L} = \frac{c}{L}$; $\sqrt{\frac{T'}{\mu}} = 2\sqrt{\frac{T}{\mu}}$

Pour doubler la fréquence fondamentale et monter la note d'une octave il faut multiplier la tension par 4.

PARTIE G.

II.A.1. Circuit BF signal passant ; Circuit HF signal Passant. Les seuls signaux coupés sont dans une certaine bande de freq d'où l'aspect coupe bande.

II.A.2. On obtient $f_o = \frac{1}{4\pi RC} = 50\text{Hz}$. C'est la fréquence du réseau de distribution d'électricité, qui

« baigne » donc l'intégralité de notre environnement. Il faut donc absolument l'éliminer si l'amplitude des signaux correspondant devient trop forte.

II.B.1. Il faut placer un circuit suiveur à ALI.

II.B.2. On observe une boucle de rétroaction sur l'entrée -.

BF condo = CC dessin pas de signal transmis. HF condo = fil dessin pas de signal en sortie. D'où Passe bande.

II.B.3. Au repos $f_c \approx 60\text{batt/min} \approx 1\text{Hz}$, à l'effort $f_c < 200\text{batt/min} \approx 3,3\text{Hz}$ le choix n'est pas parfaitement adapté à une mesure sur humain.

Pistes de correction

Pour un passe bande : $\underline{H}(j) = \frac{H_o}{1 + jQ\left(\frac{f}{f_o} - \frac{f_o}{f}\right)}$ ce qui donne un gain $G(f) = \frac{H_o}{\sqrt{1 + Q^2\left(\frac{f}{f_o} - \frac{f_o}{f}\right)^2}}$

Les freq coupure vérifient $Q^2\left(\frac{f}{f_o} - \frac{f_o}{f}\right)^2 = 1$, on résout les deux polynômes associés pour obtenir :

avec : $f_1 = f_o\left(-\frac{1}{2Q} + \sqrt{\frac{1}{4Q^2} + 1}\right)$ et $f_2 = f_o\left(\frac{1}{2Q} + \sqrt{\frac{1}{4Q^2} + 1}\right)$ donc $\Delta f = f_2 - f_1 = f_o/Q$

la bande passante est alors $[f_1 ; f_2]$.

II.B.4. ALI idéal donc $i_+ = 0$, on peut donc faire un diviseur de tension en entrée :

$\frac{V_D}{e_2} = \frac{R_3}{R_3 + \frac{1}{jC_3\omega}} = \frac{jR_3C_3\omega}{1 + jR_3C_3\omega}$ étage passe haut coupant les basses fréquences.

ALI idéal et en reg lin car boucle de rétroaction sur - :

$\underline{V}_D = \underline{V}_+ = \underline{V}_-$ et % tension entre - et E : $\underline{V}_- = \frac{R_5}{R_5 + R_6} \underline{V}_E$ d'où $\underline{V}_E = \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right) \underline{V}_D$ (étage amplificateur).

Pour finir en sortie on fait un % de tension : $\frac{\underline{v}_2}{\underline{V}_E} = \frac{\frac{1}{jC_4\omega}}{R_4 + \frac{1}{jC_4\omega}} = \frac{1}{1 + jR_4C_4\omega}$ étage passe bas coupant les HF.

Alors $\underline{H} = \frac{j\frac{f}{f_3}}{1 + j\frac{f}{f_3}} * G_{5-6} * \frac{1}{1 + j\frac{f}{f_4}}$ où $f_3 = \frac{1}{2\pi R_3 C_3} = f_1$ et $f_4 = \frac{1}{2\pi R_4 C_4} = f_2$.

II.B.5. On peut proposer $R_3 = 100\text{k}\Omega$; alors $C_3 = 3,2\mu\text{F}$; $R_4 = 10\text{k}\Omega$; $C_4 = 0,10\mu\text{F}$ (plus facile pour f_2 que pour f_1)...

II.B.6. On a vu que le filtre possède un étage d'amplification.

II.D. Par le 50 Hz ! d'où le réjecteur

PARTIE H.**Informations sur les documents :**

On peut trouver l'information sur le signal temporel en insert ou sur le spectre en période principal.

Le mâle peut chanter à deux fréquences différentes associées aux périodes environ 6 ms ou 20 ms

Ce qui correspond à une fréquence d'environ 170 Hz ou 60 Hz. Le mâle est moins gros que la femelle.

La superposition des chants du mâle et de la femelle donne un signal de battements.

Hypothèses :

On suppose que le mâle chante toujours à la même fréquence pendant l'enregistrement simultané.

Informations sur le signal de battements :

La période des battements est de l'ordre de 50 ms (on mesure 2 battements en 0,1 s).

La période du signal est de l'ordre de 6 ms (on mesure 8 périodes par battements).

Mise en équation :

La somme de deux signaux temporels sinusoïdaux de fréquences voisines donne un produit de cosinus temporels de fréquences :

- Celle du signal : la fréquence moyenne
- Celle de l'enveloppe : la différence des fréquences divisée par 2

La fréquence des battements est deux fois celle de l'enveloppe. Donc $f_1 + f_2 = 320\text{ Hz}$ et $|f_1 - f_2| = 20\text{ Hz}$

Application numérique :

On en déduit que f_2 est de l'ordre de 150 Hz.

Commentaires :

On retrouve bien que pour le phénomène des battements, les deux fréquences sont voisines.

La femelle est plus volumineuse que le mâle on peut en effet supposer que son chant sera plus grave que celui du mâle.

On n'avait pas besoin de mesurer les fréquences de chant du mâle mais on aurait pu tout de suite conclure que la femelle chantait avec une fréquence proche de 170 Hz ou 50 Hz !