

Perturbations thermiques du système balancier - spiral

Balancier bimétallique à vis à serge coupée

➡ Référence :D:\Résonateur (TE)\Data\Coef_thermiques.mcd(R)

Chronomètre - Balancier bimétallique à vis à serge coupée

➡ Référence :D:\Résonateur (TE)\Data\Chronomètre.mcd(R)

$$T_0 = 0.4 \text{ s} \quad f = 2.5 \text{ Hz} \quad \omega_0 := 2 \cdot \pi \cdot f \quad \Theta := 30 \quad \Theta_{\text{ambiante}} := 20$$

$$D_{s_ext} = 19.2 \text{ mm} \quad D_{s_int} = 18 \text{ mm} \quad e_1 = 0.245 \text{ mm} \quad e_2 = 0.355 \text{ mm} \quad e_s = 0.6 \text{ mm}$$

$$R_0 = 9.245 \text{ mm} \quad h_s = 1.2 \text{ mm} \quad \rho_1 := 7.8 \cdot 10^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad \rho_2 := 8.7 \cdot 10^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$M_{\text{serge}} := \pi \cdot \rho_1 \cdot h_s \cdot \left[R_0^2 - (R_0 - e_1)^2 \right] + \pi \cdot \rho_2 \cdot h_s \cdot \left[(R_0 + e_2)^2 - R_0^2 \right] \quad M_{\text{serge}} = 350.9 \text{ mg}$$

$$J_{\text{serge}} := \frac{1}{2} \cdot M_1 \cdot \left[R_0^2 + (R_0 - e_1)^2 \right] + \frac{1}{2} \cdot M_2 \cdot \left[(R_0 + e_2)^2 + R_0^2 \right] \quad J_{\text{serge}} = 304.3 \text{ mg} \cdot \text{cm}^2$$

$$M_{\text{vis}} := \frac{1}{4} \cdot \rho_{\text{lt}} \cdot \pi \cdot d_{\text{vis}}^2 \cdot h_{\text{vis}}$$

$$J_{\text{vis}} := \frac{M_{\text{vis}}}{12} \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot d_{\text{vis}}^2 + h_{\text{vis}}^2 \right) + M_{\text{vis}} \cdot \left(\frac{D_{s_ext}}{2} + \frac{h_{\text{vis}}}{2} \right)^2 \quad M_{\text{vis}} = 9.839 \text{ mg} \quad J_{\text{vis}} = 10.054 \text{ mg} \cdot \text{cm}^2$$

$$M_b := 1.2 \cdot (M_{\text{serge}} + n b_{\text{vis}} \cdot M_{\text{vis}}) \quad M_b = 657.2 \text{ mg}$$

$$J_b := 1.1 \cdot (J_{\text{serge}} + n b_{\text{vis}} \cdot J_{\text{vis}}) \quad J_b = 555.9 \text{ mg} \cdot \text{cm}^2 \quad \text{Valeur adoptée}$$

$$J_b := 550 \cdot \text{mg} \cdot \text{cm}^2$$

Coefficients de dilatation et constantes élastiques

$$\alpha_1 := \alpha_{\text{acier}} \quad \alpha_1 = 1.15 \times 10^{-5} \quad \alpha_2 := \alpha_{\text{laiton}} \quad \alpha_2 = 1.85 \times 10^{-5} \quad \gamma_{\text{acier}} = -2.4 \times 10^{-4}$$

$$E_1 := E_{\text{acier}} \quad E_1 = 2.1 \times 10^{11} \text{ Pa} \quad E_2 := E_{\text{laiton}} \quad E_2 = 1 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

Rayon de courbure et coefficient de dilatation de la soudure en fonction de la température

$$D := 4 \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot e_1 \cdot e_2 \cdot e_s^2 + (E_2 \cdot e_2^2 - E_1 \cdot e_1^2)^2 \quad m := \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2 \cdot R_0}$$

$$M := (\alpha_2 - \alpha_1) \cdot (E_2 \cdot e_2 - E_1 \cdot e_1) - m \cdot (E_2 \cdot e_2^2 + E_1 \cdot e_1^2) \quad m = 3.786 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

$$N := \frac{3}{2} \cdot (\alpha_2 - \alpha_1) \cdot (E_2 \cdot e_2^2 + E_1 \cdot e_1^2) - 2 \cdot m \cdot (E_2 \cdot e_2^3 - E_1 \cdot e_1^3) \quad D = 2.63 \times 10^9 \text{ m}^4 \text{ Pa}^2$$

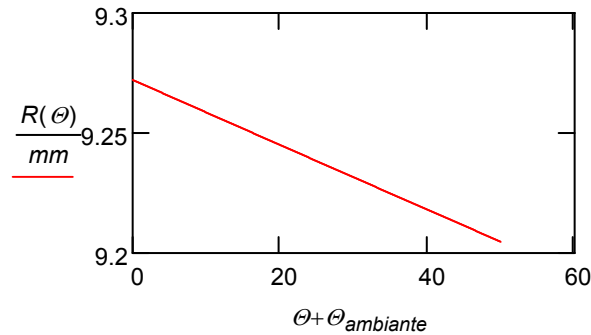
$$y(\Theta) := \frac{2 \cdot N \cdot (E_2 \cdot e_2 + E_1 \cdot e_1) - 3 \cdot M \cdot (E_2 \cdot e_2^2 - E_1 \cdot e_1^2)}{D} \cdot \Theta \quad y(\Theta) = 0.523 \text{ m}^{-1}$$

$$z(\Theta) := \frac{2 \cdot M \cdot (E_2 \cdot e_2^3 + E_1 \cdot e_1^3) - N \cdot (E_2 \cdot e_2^2 - E_1 \cdot e_1^2)}{D} \cdot \Theta \quad z(\Theta) = -2.09 \times 10^{-5}$$

$$x(\Theta) := y(\Theta) - \frac{\alpha_2 + \alpha_1}{2 \cdot R_0} \cdot \Theta \quad g(\Theta) := z(\Theta) + \frac{\alpha_2 + \alpha_1}{2} \cdot \Theta \quad x(\Theta) = 0.474 \text{ m}^{-1}$$

$$R(\vartheta) := \left(x(\vartheta) + \frac{1}{R_0} \right)^{-1} \quad R(\vartheta) = 9.20464 \text{ mm} \quad \frac{g(\vartheta)}{\vartheta} = 1.43 \times 10^{-5}$$

$$\vartheta := -20, -19.9 \dots 30$$



Formules approchées

$$\vartheta := 30$$

$$y_a(\vartheta) := 6 \cdot (\alpha_2 - \alpha_1) \cdot \frac{E_1 \cdot E_2 \cdot e_1 \cdot e_2 \cdot e_s}{4 \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot e_1 \cdot e_2 \cdot e_s^2 + (E_2 \cdot e_2^2 - E_1 \cdot e_1^2)^2} \cdot \vartheta \quad y_a(\vartheta) = 0.525 \text{ m}^{-1}$$

$$z_a(\vartheta) := \frac{1}{2} \cdot (\alpha_2 - \alpha_1) \cdot \frac{E_2^2 \cdot e_2^4 - E_1^2 \cdot e_1^4 + 4 \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot e_1 \cdot e_2 \cdot e_s \cdot (e_1 - e_2)}{4 \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot e_1 \cdot e_2 \cdot e_s^2 + (E_2 \cdot e_2^2 - E_1 \cdot e_1^2)^2} \cdot \vartheta \quad z_a(\vartheta) = -1.925 \times 10^{-5}$$

$$x_a(\vartheta) := y_a(\vartheta) - \frac{\alpha_2 + \alpha_1}{2 \cdot R_0} \cdot \vartheta \quad g_a(\vartheta) := z_a(\vartheta) + \frac{\alpha_2 + \alpha_1}{2} \cdot \vartheta \quad x_a(\vartheta) = 0.476 \text{ m}^{-1}$$

$$R_a(\vartheta) := \left(x_a(\vartheta) + \frac{1}{R_0} \right)^{-1} \quad R_a(\vartheta) = 9.20447 \text{ mm} \quad \frac{g_a(\vartheta)}{\vartheta} = 1.436 \times 10^{-5}$$

Formule de Villarceau

$$\frac{\alpha_2 + \alpha_1}{2 \cdot R_0} \cdot \vartheta = 0.049 \text{ m}^{-1} \quad y_a(\vartheta) = 0.525 \text{ m}^{-1} \quad x_v(\vartheta) := y_a(\vartheta)$$

$$R_v(\vartheta) := \left(x_v(\vartheta) + \frac{1}{R_0} \right)^{-1} \quad R_v(\vartheta) = 9.20034 \text{ mm}$$

$$\vartheta := -20, -19.9 \dots 30$$

