

## Perturbations thermiques du système balancier - spiral

### Balancier bimétallique et balancier Guillaume - Erreur secondaire

➔ 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)

$$T_0 = 0.4 \text{ s} \quad f = 2.5 \text{ Hz} \quad \omega_0 := 2 \cdot \pi \cdot f \quad \Theta := 50$$

$$D_{s\_ext} = 19.2 \text{ mm} \quad D_{s\_int} = 18 \text{ mm} \quad e_1 = 0.245 \text{ mm} \quad e_2 = 0.355 \text{ mm} \quad e_s = 0.6 \text{ mm}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

#### Balancier acier - laiton

$$\alpha_1 := \alpha_{ac_0} \quad \alpha_1 = 1.04 \times 10^{-5} \quad \alpha_2 := \alpha_{lt_0} \quad \alpha_2 = 1.85 \times 10^{-5} \quad \gamma_{acier} = -2.4 \times 10^{-4}$$

$$\beta_1 := \alpha_{ac_1} \quad \beta_1 = 5.2 \times 10^{-9} \quad \beta_2 := \alpha_{lt_1} \quad \beta_2 = 3 \times 10^{-10}$$

$$\gamma_0 := \gamma_{ac_0} \quad \gamma_0 = -2.63 \times 10^{-4} \quad \gamma_1 := \gamma_{ac_1} \quad \gamma_1 = -2 \times 10^{-7}$$

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

#### Facteur de réglage pour $\Theta_1$

$$\Theta_1 := 40 \quad \chi := \frac{-(\gamma_0 + \gamma_1 \cdot \Theta_1)}{(\alpha_2 - \alpha_1) + (\beta_2 - \beta_1) \cdot \Theta_1} \quad \chi = 34.286$$

#### Marche instantanée en fonction de la température

$$\mu_b(\Theta) := 43200 \cdot [(\alpha_2 - \alpha_1) + (\beta_2 - \beta_1) \cdot \Theta] \cdot \chi \cdot \Theta \quad \mu_b(20) = 237.047$$

$$\mu_s(\Theta) := 43200 \cdot (\gamma_0 + \gamma_1 \cdot \Theta) \cdot \Theta \quad \mu_s(20) = -230.688 \quad \mu_b(20) + \mu_s(20) = 6.359$$

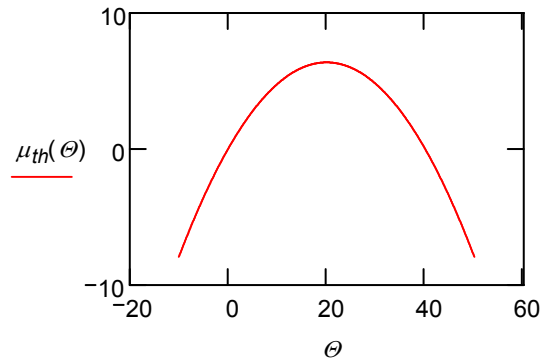
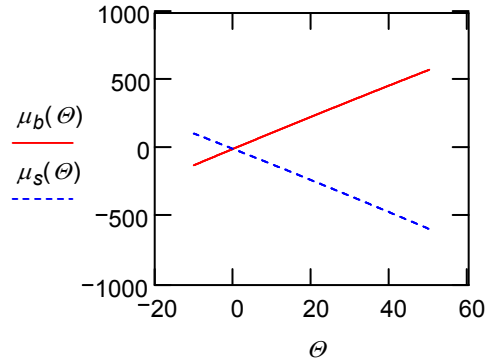
$$[\gamma_1 \cdot (\alpha_2 - \alpha_1) - \gamma_0 \cdot (\beta_2 - \beta_1)] \cdot 10^{12} = -2.9087$$

$$\mu_{th}(\Theta) := -43200 \cdot \frac{\gamma_1 \cdot (\alpha_2 - \alpha_1) - \gamma_0 \cdot (\beta_2 - \beta_1)}{(\alpha_2 - \alpha_1) + (\beta_2 - \beta_1) \cdot \Theta_1} \cdot (\Theta_1 - \Theta) \cdot \Theta$$

$$\Theta := -10, -10 + 0.1 .. 50$$

Erreur secondaire

$$\mu_{th}(20) = 6.359$$



### Balancier Guillaume (intégral) anibal-laiton

$\alpha_1 := \alpha_{anibal_0}$	$\alpha_1 = 8.51 \times 10^{-6}$	$\alpha_2 := \alpha_{lt_0}$	$\alpha_2 = 1.85 \times 10^{-5}$
$\beta_1 := \alpha_{anibal_1}$	$\beta_1 = -2.5 \times 10^{-9}$	$\beta_2 := \alpha_{lt_1}$	$\beta_2 = 3 \times 10^{-10}$
$\gamma_0 := \gamma_{ac_0}$	$\gamma_0 = -2.63 \times 10^{-4}$	$\gamma_1 := \gamma_{ac_1}$	$\gamma_1 = -2 \times 10^{-7}$

### Facteur de réglage pour $\Theta_1$

$$\Theta_1 := 40 \quad \chi := \frac{-(\gamma_0 + \gamma_1 \cdot \Theta_1)}{(\alpha_2 - \alpha_1) + (\beta_2 - \beta_1) \cdot \Theta_1} \quad \chi = 26.826$$

### Marche instantanée en fonction de la température

$$\mu_b(\Theta) := 43200 \cdot [(\alpha_2 - \alpha_1) + (\beta_2 - \beta_1) \cdot \Theta] \cdot \chi \cdot \Theta \quad \mu_b(20) = 232.846$$

$$\mu_s(\Theta) := 43200 \cdot (\gamma_0 + \gamma_1 \cdot \Theta) \cdot \Theta \quad \mu_s(20) = -230.688$$

$$\mu_b(20) + \mu_s(20) = 2.158$$

$$[\gamma_1 \cdot (\alpha_2 - \alpha_1) - \gamma_0 \cdot (\beta_2 - \beta_1)] \cdot 10^{12} = -1.2616$$

$$\mu_{th}(\Theta) := -43200 \cdot \frac{\gamma_1 \cdot (\alpha_2 - \alpha_1) - \gamma_0 \cdot (\beta_2 - \beta_1)}{(\alpha_2 - \alpha_1) + (\beta_2 - \beta_1) \cdot \Theta_1} \cdot (\Theta_1 - \Theta) \cdot \Theta$$

$$\Theta := -10, -10 + 0.1 .. 50$$

Erreur secondaire

$$\mu_{th}(20) = 2.158$$

