

Affolement de Soupape : Corrigé

1- Etude cinématique du mouvement de la soupape

Q1- Vitesses et accélérations du mouvement

La distance parcourue par la soupape représente l'aire sous la courbe. L'ouverture totale de la soupape se fait entre les dates $t = 0$ et $t = T$. Sur cette durée T la distance parcourue correspond à la levée de la soupape d . Donc d est l'aire du triangle de base T et de hauteur V_{Max} .

On en déduit : $d = \frac{T \cdot V_{\text{Max}}}{2}$ Soit : $V_{\text{Max}} = \frac{2 \cdot d}{T} = \frac{2 \times 9 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-3}} = 3,6 \text{ m.s}^{-1}$

Les accélérations γ_1 et γ_2 sur les phases 1 et 2 sont respectivement les pentes de la courbe $v(t)$ (segments) de 0 à $\frac{T}{4}$ et de $\frac{T}{4}$ à T . Segments faisant varier la vitesse de 0 à V_{Max} et de V_{Max} à 0.

On en déduit : $\gamma_1 = \frac{V_{\text{Max}}}{T/4} = \frac{8 \cdot d}{T^2}$ Et : $\gamma_2 = \frac{-V_{\text{Max}}}{3 \cdot T/4} = \frac{-8 \cdot d}{3 \cdot T^2}$

Q2- Vitesses et accélérations du mouvement

Applications numériques : $V_{\text{Max}} = \frac{2 \times 9 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-3}} = 3,6 \text{ m.s}^{-1}$

$\gamma_1 = \frac{8 \times 9 \cdot 10^{-3}}{(5 \cdot 10^{-3})^2} = 2880 \text{ m.s}^{-2}$ et : $\gamma_2 = \frac{-8 \times 9 \cdot 10^{-3}}{3 \times (5 \cdot 10^{-3})^2} = -960 \text{ m.s}^{-2}$

Les accélérations γ_1 et γ_2 sont très importantes jusqu'à presque 300 fois l'accélération gravitationnelle : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ ($\gamma_1 \approx 300 \cdot g$ et ($\gamma_2 \approx -100 \cdot g$). Il est donc parfaitement cohérent de négliger le poids : $m \cdot g$. En revanche on ne néglige pas la masse (inertie) car $m \cdot \gamma$ est très important.

2- Etude dynamique, mise en évidence de l'affolement de soupape

Q3- Effort du ressort

Le ressort ayant une longueur à vide L_0 une raideur k et une longueur une fois monté de $L_1 - x$ son effort est de : $F_R = k \cdot (L_0 - (L_1 - x))$ Soit : $F_R = k \cdot (L_0 - L_1) + k \cdot x$

Application numérique : $k \cdot (L_0 - L_1) = 20 \times (42 - 30) = 240 \text{ N} \Rightarrow F_R = 240 + 20 \cdot x$

Q4 et Q5- Tracé de F_R et de $m \cdot \gamma$

Pour $x = 0$ ($\theta = 0^\circ$) : $F_R = 240 \text{ N}$.

Pour $x = 9 \text{ mm}$ ($\theta = 60^\circ$) : $F_R = 420 \text{ N}$.

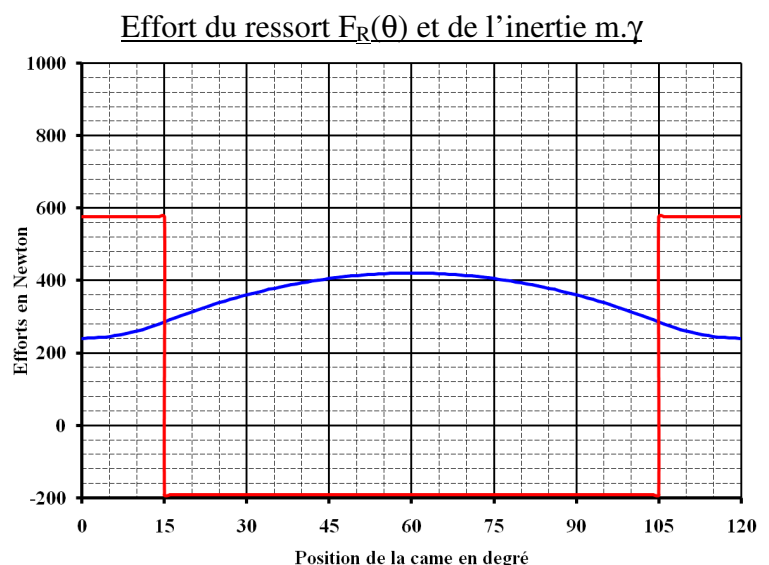
Pour $\theta < 15^\circ$ et $\theta > 105^\circ$:

$m \cdot \gamma = 0,2 \times 2880 = 576 \text{ N}$

Pour $\theta < 15^\circ$ et $\theta > 105^\circ$:

$m \cdot \gamma = 0,2 \times (-960) = -192 \text{ N}$

On en déduit ci-contre l'échelle des axes des ordonnées (de -200 N à $+1000 \text{ N}$) et le tracé (en rouge) de $m \cdot \gamma$.



Q6- Effort came soupape

On isole l'ensemble $E = \{2,3\}$. BAME (Bilan des Actions Mécaniques Extérieures) :

☞ Action de 0 sur E due à la liaison pivot glissant d'axe $(C, \vec{x})$ de résultante $\vec{F}_{0 \rightarrow E}$ suivant $\vec{y}$.

☞ Action de R = {5,6} sur E de résultante $\vec{F}_R = -F_R \cdot \vec{x}$

☞ Action de 1 sur E : Du à la liaison sphère plan de normale $(B, \vec{x})$ de résultante $\vec{F}_{1 \rightarrow E} = F_{1E} \cdot \vec{x}$

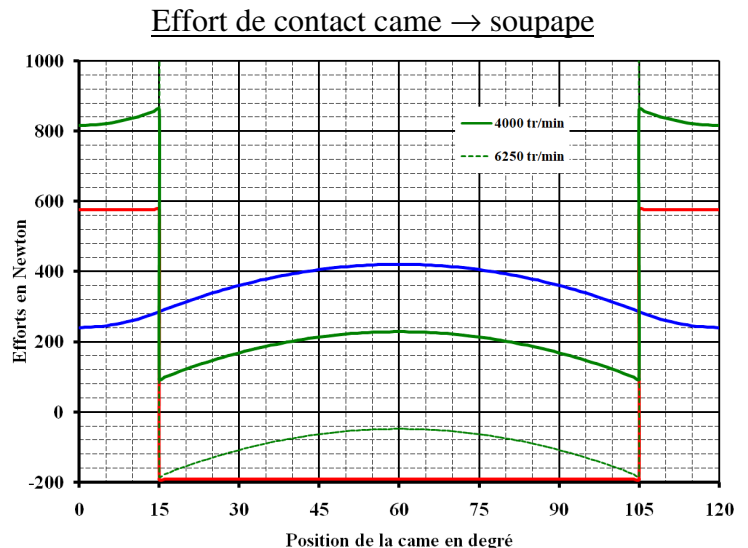
L'application du TRD projeté sur $\vec{x}$:

$$\vec{F}_{0 \rightarrow E} \cdot \vec{x} + \vec{F}_R \cdot \vec{x} + \vec{F}_{1 \rightarrow E} \cdot \vec{x} = m \cdot \Gamma_{G \in E/0} \cdot \vec{x}$$

$$\text{Donne alors : } 0 - F_R + F_{1E} = m \cdot \gamma$$

$$\text{Soit : } \mathbf{F_{1E} = F_R + m \cdot \gamma}$$

On en déduit ci-contre, le tracé de F_{1E} (en vert) en faisant l'addition des courbes bleu (F_R) et rouge ($m \cdot \gamma$).

**Q7- Applications numériques pour un régime moteur de 6 250 tr/min**

$$\text{Pour } T = 3,2 \text{ ms : } \gamma_1 = \frac{8 \times 9 \cdot 10^{-3}}{(3,2 \cdot 10^{-3})^2} = 7\,030 \text{ m.s}^{-2} \quad \text{et : } \gamma_2 = \frac{-8 \times 9 \cdot 10^{-3}}{3 \times (3,2 \cdot 10^{-3})^2} = -2\,340 \text{ m.s}^{-2}$$

$$\text{Pour une position angulaire de } 15^\circ, \alpha = \frac{d}{4} \quad F_R = 240 + 20 \times \frac{9}{4} = 285 \text{ N}$$

$$\text{Pour une position angulaire de } 15^\circ \text{ on a donc : } \mathbf{F_{1E} = 285 - 0,2 \times 2\,340 = -183 \text{ N}}$$

Voir tracé de F_{1E} dans ce cas pour $T = 3,2 \text{ ms}$ (Régime moteur de 6 250 tr/min).

La force de la came sur la soupape ne pouvant pas être orientée dans le sens $-\vec{x}$, cela signifie qu'il ne peut y avoir contact entre la came et la soupape. L'accélération n'est plus de γ_2 mais est moindre donc la soupape ne suit plus le mouvement normalement imposé par la came.

C'est ce qu'on appelle l'affolement de soupape.

Q8- Modification du ressort

Pour éviter le phénomène d'affolement de soupape, il faut $F_{1E} \geq 0 \Leftrightarrow F_R + m \cdot \gamma_2 \geq 0$

$$\Leftrightarrow k \cdot \left(L_0 - L_1 + \frac{d}{4} \right) \geq -m \cdot \gamma_2 \Leftrightarrow k \cdot \left(L_0 - L_1 + \frac{d}{4} \right) \geq m \cdot \frac{8 \cdot d}{3 \cdot T^2}$$

$$\text{Soit finalement : } \mathbf{k \geq \frac{8 \cdot m \cdot d}{3 \cdot T^2 \cdot \left(L_0 - L_1 + \frac{d}{4} \right)} = \frac{8 \times 0,2 \times 9 \cdot 10^{-3}}{3 \times (3,2 \cdot 10^{-3})^2 \times \left(42 - 30 + \frac{9}{4} \right)} = 32,9 \text{ N.mm}^{-1}}$$