

TD1 : Affolement de soupape

Description du mécanisme

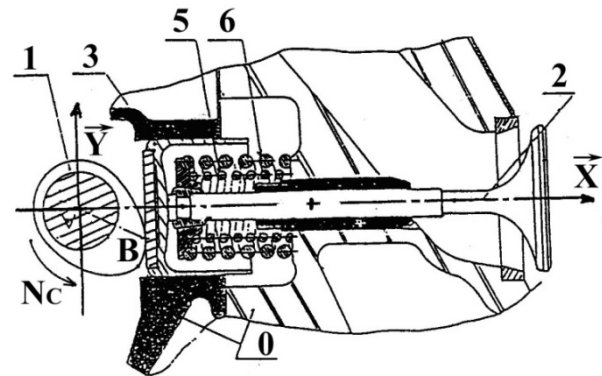
La commande directe de la soupape d'admission d'un moteur à combustion interne quatre temps est dessinée ci-contre.

La masse de l'ensemble $E = \{2,3\}$ formé des pièces en translation est $m = 200 \text{ g}$.

L'action du ressort $R = \{5,6\}$ sur $\{E\}$ est une force $\vec{F}_{R \rightarrow E}$ dont l'intensité varie proportionnellement à la position de la soupape.

La levée de soupape (course) est de $d = 9 \text{ mm}$.

Le cycle de fonctionnement du mécanisme est le suivant:



Position 1	Position 2	Position 3	Position 4	Position 5
Came à 0°	Came à 15°	Came à 60°	Came à 105°	Came à 120°
La soupape est fermée : $x = 0$, sa vitesse est nulle : $V = 0$. C'est le début de l'ouverture.	La soupape est ouverte au quart : $x = d/4$, et elle est à sa vitesse maximale d'ouverture : $V = V_{\text{Max}}$	La soupape est ouverte à son maximum : $x = d$ et sa vitesse est nulle : $V = 0$.	La soupape est ouverte au quart : $x = d/4$, et elle est à sa vitesse maximale de fermeture : $V = -V_{\text{Max}}$	La soupape est fermée : $x = 0$, sa vitesse est nulle : $V = 0$. C'est la fin de la fermeture.

Modélisation du mécanisme

Le mécanisme est modélisé par trois pièces (solides indéformables) : Le bâti 0, la came 1 et la soupape $E = \{2,3\}$ ainsi qu'un ressort (solide déformable) : $R = \{5,6\}$. On donne ci-dessous le schéma cinématique avec l'ensemble Piston-Bielle-Vilebrequin du moteur non étudié.

On pose le repère $\mathcal{R} = (\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ lié au bâti 0 et on a les liaisons cinématiques suivantes :

- ☞ Entre 0 et 1 : Pivot d'axe $(A, \vec{z})$
- ☞ Entre 1 et E : Sphère plan de normale $(B, \vec{x})$
- ☞ Entre 0 et E : Pivot glissant d'axe $(C, \vec{x})$

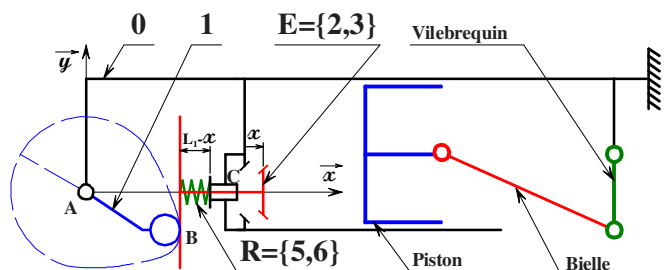
Lorsque le ressort est monté et que la soupape est fermée sa longueur est L_1 . Donc lorsque la soupape est partiellement ouverte avec d'une distance notée x sa longueur est : $L_1 - x$.

Hypothèses :

Toutes les liaisons sont parfaites.

On néglige le poids de la soupape E mais pas son inertie correspondant à sa masse m .

Le ressort R a une longueur à vide L_0 et une raideur k .



Objectif du TP

Cet exercice a pour but d'expliquer pourquoi la force du ressort de rappel d'une soupape d'un moteur thermique est importante (parfois plus de 1000 N), et de déterminer la raideur du ressort de rappel de la soupape, pour un régime moteur donné, afin éviter le phénomène d'affolement de soupape.

1- Etude cinématique du mouvement de la soupape

Du fait de la forme de la came, le mouvement de cette soupape entre le début de son ouverture et la fin de sa fermeture peut se décomposer en quatre phases :

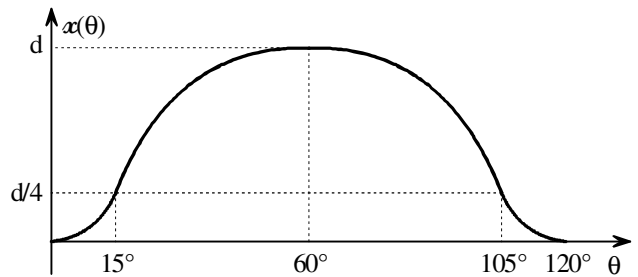
- 1^{ère} phase (ouverture) : Entre les positions 1 et 2 : La soupape est accélérée (accélération positive).
- 2^{ème} phase (ouverture) : Entre les positions 2 et 3 : La soupape est ralentie (accélération négative).
- 3^{ème} phase (fermeture) : Entre les positions 3 et 4 : La soupape est accélérée (accélération négative).
- 4^{ème} phase (ouverture) : Entre les positions 4 et 5 : la soupape est ralentie (accélération positive).

Hypothèses :

Le profil de la came est dessiné de telle sorte à ce que α la position de la soupape en fonction de θ la position angulaire de la came est une courbe se décomposant en trois paraboles définies sur les intervalles $[0, 15^\circ]$, $[15^\circ, 105^\circ]$ et $[105^\circ, 120^\circ]$.

Le maximum du paramètre α est appelé la levée de la soupape et est noté : d .

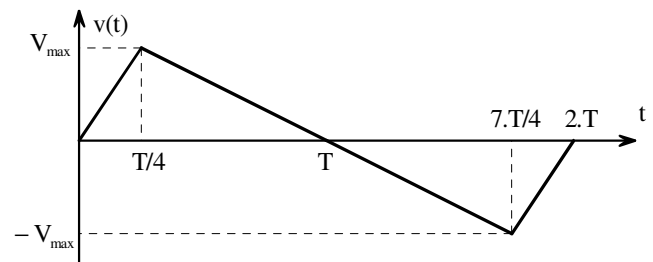
Pour $\theta = 15^\circ$ ou 105° la soupape est levée au quart :



$$\alpha(15^\circ) = \alpha(105^\circ) = \frac{d}{4}$$

On en déduit, que pour une vitesse de rotation constante de l'arbre à cames, les 4 phases d'accélération et de décélération de la soupape sont des mouvements de translation uniformément variés.

D'où le diagramme des vitesses ci-contre pour une durée T nécessaire à la levée de la soupape fonction de la fréquence de rotation de l'arbre à came.



Q.1- Déterminer, uniquement en fonction T et d , l'expression de V_{Max} la vitesse maximale atteinte par la soupape et ensuite celles des accélérations γ_1 et γ_2 de la soupape durant les phases 1 et 2.

Q.2- Pour un régime moteur de 4 000 tr/min, l'arbre à came a une fréquence de $N_C = 2\,000$ tr/min. On en déduit alors que la levée de la soupape se fait en une durée $T = 5$ ms. Cette levée étant de : $d = 9$ mm, en déduire les valeurs numériques de V_{Max} , γ_1 et γ_2 . Conclure sur les hypothèses faites concernant le poids et la masse.

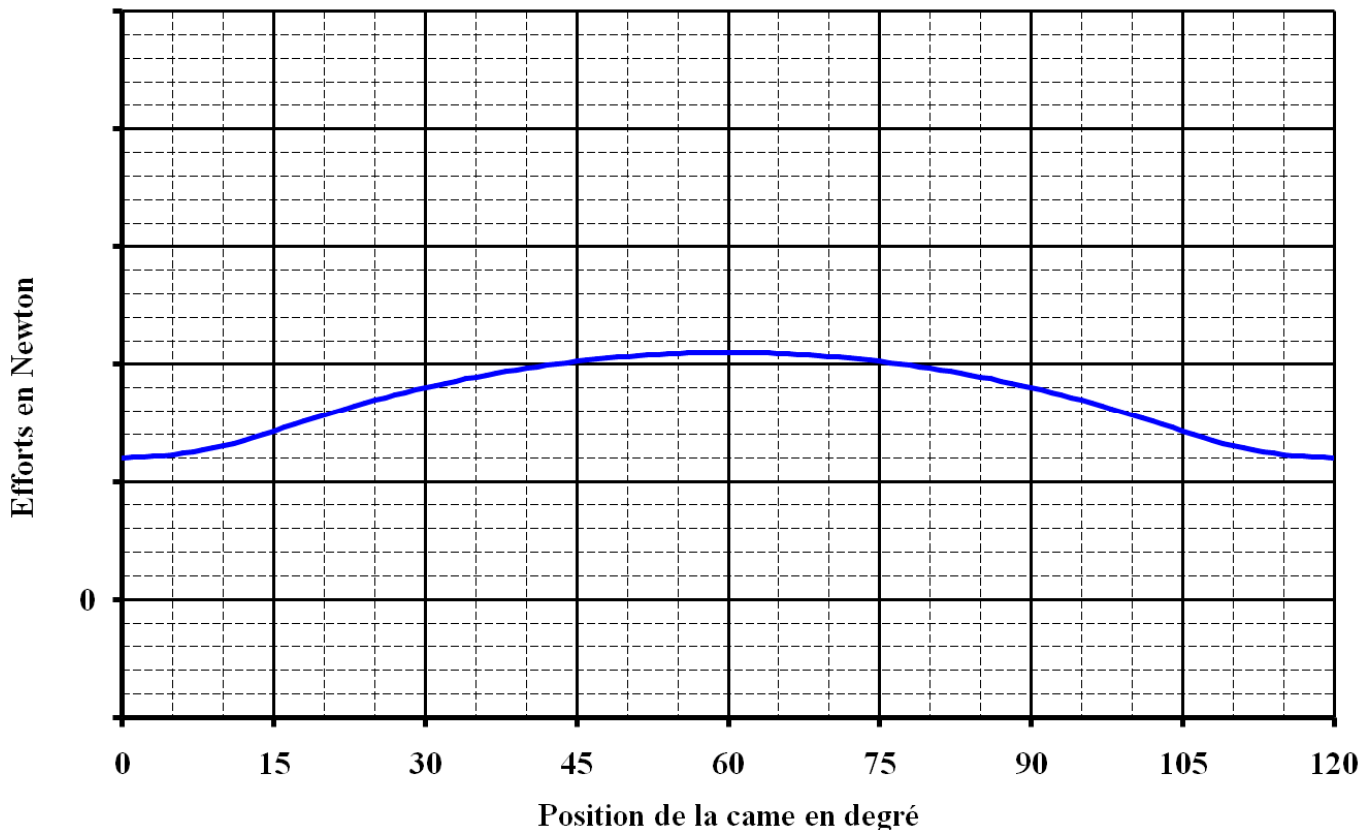
2- Etude dynamique, mise en évidence de l'affolement de soupape

Les deux ressorts 5 et 6 sont équivalents à un seul ressort de rappel R de la soupape dont la longueur à vide (libre) est de $L_0 = 42$ mm et la raideur de $k = 20$ N/mm. Sachant que dans la position 1 (soupape fermée : $\alpha = 0$) la longueur du ressort est de $L_1 = 30$ mm,

On note F_R la norme de la force appliquée par le ressort R sur l'ensemble E . On a donc la résultante de cette action : $\vec{F}_{R \rightarrow E} = -F_R \cdot \vec{\alpha}$.

Q.3- Donner l'expression de F_R en fonction de k , L_0 , L_1 et α . Puis en déduire l'expression numérique de F_R en fonction de α , pour F_R en Newton et α en mm.

Q.4- La courbe bleu ci-dessous est la représentation graphique de $F_R(\theta)$ (θ position angulaire de la came). $F_R(x)$ étant une fonction affine de x , La forme de $F_R(\theta)$ est identique à celle de $x(\theta)$: 3 portions de paraboles. En vous aidant de l'expression numérique de $F_R(x)$ mettre en place les valeurs numériques des graduations de l'axe des ordonnées. Attention il y a des valeurs négatives (voir la graduation zéro).



Q.5- La masse de l'ensemble E et de $m = 200$ g. Tracer sur le graphe ci-dessus le produit $m \cdot \gamma$ en fonction de θ la position angulaire de la came 1. Vous ferez le tracer avec les accélérations pour un régime moteur de 4 000 tr/min (Valeur de γ_1 et γ_2 calculées à la question Q.2.)

On note F_{1E} la norme de la résultante de l'action de la came 1 sur la soupape E.

Q.6- Déterminer l'expression de F_{1E} en fonction de F_R , m et γ l'accélération de la soupape E. En déduire sur le graphe ci-dessus le tracé de F_{1E} en fonction de θ la position angulaire de la came 1.

Lorsque le régime moteur est de 6 250 tr/min (Celui de la came de $N_C = 3\,125$ tr/min) la levée de la soupape (On a toujours $d = 9$ mm) se fait sur une durée de $T = 3,2$ ms.

Q.7- En reprenant les applications numériques des questions Q.2 et Q.5, déterminer la valeur de F_{1E} pour une position angulaire de la came 1 de 15° (Juste après les 15°). Que ce passe-t-il dans ce cas pour la soupape lorsque la came atteint une position angulaire de 15° ?

Ce phénomène est appelé « affolement de soupape ». Il est bien sur totalement à proscrire car le mouvement de la soupape ne sera plus synchronisé avec celui du piston, ce qui peut entraîner une collision entre la soupape et le piston du moteur et donc une destruction du mécanisme. Pour éviter cela tout en permettant au moteur de tourner à un régime de 6 250 tr/min on décide de modifier la raideur k du ressort (Sa longueur à vide L_0 ainsi que la longueur L_1 ne sont pas modifiées).

Q.8- Déterminer la raideur minimale k permettant au moteur de tourner à un régime moteur de 6 250 tr/min ($T = 3,2$ ms) sans qu'il y ait affolement de soupape.