

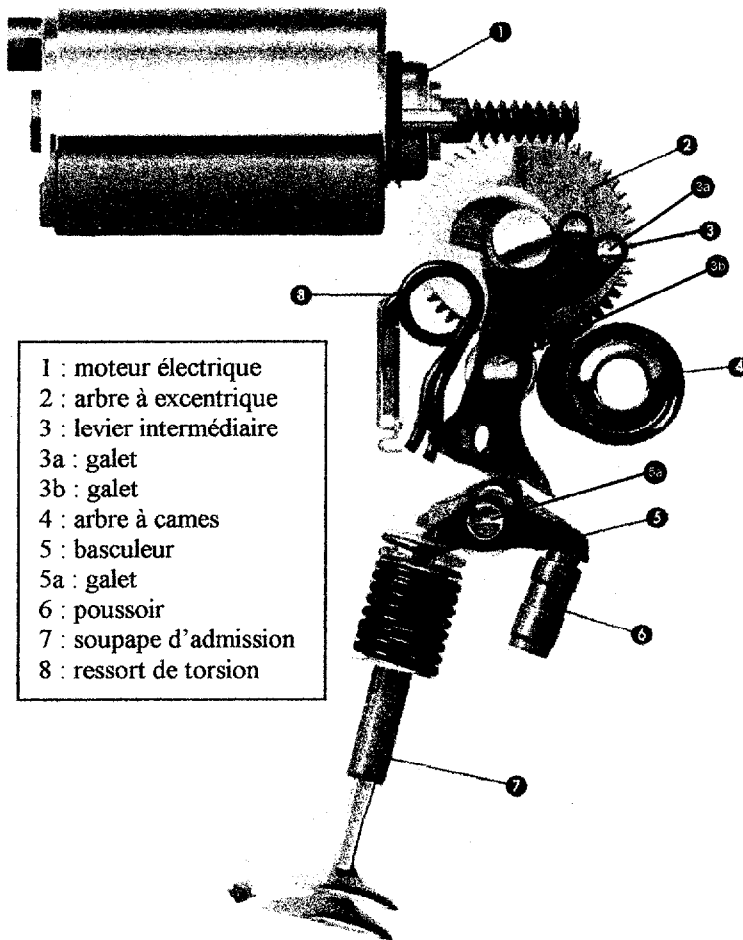
## MECANISME DE LEVEE VARIABLE DE SOUPAPES

### PRESENTATION ET OBJECTIFS

Cette étude a pour but de vérifier que le mécanisme de levée de soupapes a un temps de réaction suffisant pour ne pas nuire aux performances du véhicule en termes d'accélération et de pollution.

On vérifiera en particulier que le temps de réaction du mécanisme est inférieur au temps nécessaire au véhicule pour passer du régime de ralenti au régime maxi au premier rapport.

### FONCTIONNEMENT DU MECANISME DE LEVEE VARIABLE DE SOUPAPES



- |                          |
|--------------------------|
| 1 : moteur électrique    |
| 2 : arbre à excentrique  |
| 3 : levier intermédiaire |
| 3a : galet               |
| 3b : galet               |
| 4 : arbre à cames        |
| 5 : basculeur            |
| 5a : galet               |
| 6 : poussoir             |
| 7 : soupape d'admission  |
| 8 : ressort de torsion   |

Pour modifier l'ouverture de la soupape d'admission 7, le moteur électrique entraîne par l'intermédiaire d'un réducteur à vis sans fin, l'arbre à excentrique 2. La position angulaire de l'excentrique détermine la position du levier intermédiaire 3, qui lui-même détermine la position du basculeur 5 puis de la soupape 7.

Selon la position de l'arbre à excentrique, l'ouverture maximale de la soupape varie de 0,3mm (charge minimum) à 9,7mm (pleine charge).

Pour limiter les frottements, le contact entre l'excentrique 2 et le levier intermédiaire 3 se fait par l'intermédiaire d'un galet 3a, le contact entre le levier intermédiaire 3 et l'arbre à cames se fait par le galet 3b et le contact entre le levier intermédiaire 3 et le basculeur 5 se fait par l'intermédiaire du galet 5a.

Un ressort de maintien 8 est utilisé pour comprimer le levier intermédiaire sur l'arbre à excentrique 2, l'arbre à cames 4 et le basculeur à galet 5.

Les galets 3a et 3b roulent sans glisser sur l'excentrique 2 et la came 4. De même, le galet 5a roule sans glisser sur 3.

Figure 1 : système mécanique du Valvetronic

## CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU VEHICULE

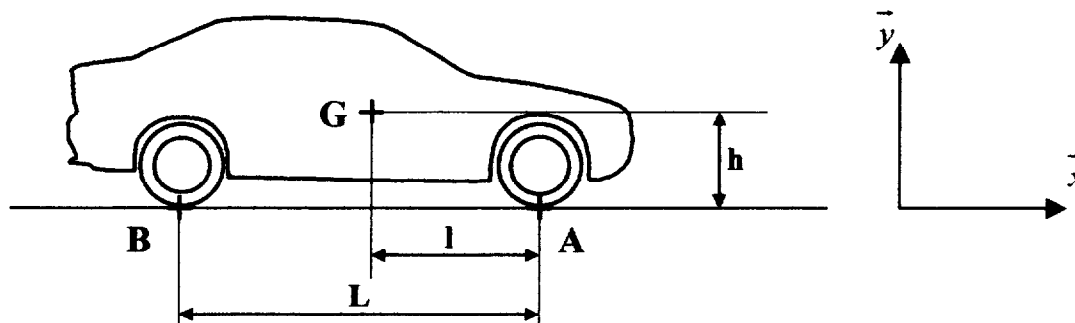


Figure 2 : vue de profil du véhicule étudié

$L = 2.7 \text{ m}$

$l = 1.37 \text{ m}$

$h = 0.58 \text{ m}$

Poids du véhicule : 1240 daN

Véhicule à propulsion

Régime ralenti : 800 tr/min

Régime maxi : 6000 tr/min

Rapport	Rapport boîte pont
1	0.069
2	0.115
3	0.175
4	0.238
5	0.290
MAR	0.072

Pneumatiques : 205/60 ZR 15,  
Circonférence de roulement : 1920 mm

## HYPOTHESES

- 1) On supposera dans cette étude que l'énergie nécessaire pour comprimer le ressort de la soupape est intégralement apportée par l'arbre à cames. Autrement dit, le moteur électrique ne participe pas à l'ouverture de la soupape d'admission. Le calcul, pour déterminer les efforts lorsque le mécanisme passe d'une position «ouverture de soupape minimum» à «ouverture de soupape maximum», sera mené soupape fermée.
- 2) L'étude sera menée sur une position médiane de l'arbre à excentrique et du levier intermédiaire (figure 4).
- 3) Seules les inerties du rotor 1 du moteur électrique et de l'arbre à excentrique 2 sont prises en compte.
- 4) Le poids des différentes pièces est négligé.
- 5) Les solides sont indéformables.
- 6) Les liaisons sont parfaites.

## TRAVAIL DEMANDE :

Cette étude doit permettre de vérifier que le temps de réponse du mécanisme de levée de soupape ne nuit pas aux performances du véhicule en terme d'accélération et de pollution. Elle se compose de deux parties :

- 1- Détermination de la durée nécessaire pour passer du ralenti (vitesse nulle du véhicule) au régime maxi, premier rapport enclenché et pleine charge.
- 2- Détermination de la durée nécessaire pour passer de la position ouverture de soupape minimum (0,3mm) à la position ouverture de soupape maximum (9,7mm).

Première partie
-----------------

**Hypothèses spécifiques à la première partie**

- 1) La puissance du véhicule étant importante, on considérera que les pneumatiques sont à la limite du glissement pendant toute la durée de l'accélération au premier rapport (cette hypothèse est équivalente à considérer le mouvement du véhicule uniformément accéléré).  
**La valeur du coefficient d'adhérence longitudinal vaut  $\mu_L = 1$ .**
- 2) L'accélération de la pesanteur vaut  $g = 9.81 \text{ms}^{-2}$  ( $\vec{g} = -9,81 \cdot \vec{y}$ ).
- 3) Les résistances dues à l'air et au roulement des pneumatiques sont négligées.
- 4) On considère que le plan  $(G, \vec{x}, \vec{y})$  est un plan de symétrie du véhicule.

1.1 Calculer les actions en A et B du sol sur les pneumatiques, véhicule à l'arrêt.

1.2 En phase d'accélération, l'action résultante du sol sur les pneumatiques arrière peut se mettre sous la forme :  $\overline{B_{sol/pneus}} = T \cdot \vec{x} + N \cdot \vec{y}$  ; donner la relation entre T et N.

1.3 En appliquant le principe fondamental de la dynamique au véhicule, au point G, montrer que l'accélération maximale du véhicule peut se mettre sous la forme :  $\vec{\gamma} = \frac{g \cdot l}{L-h} \vec{x}$  (lorsque  $\mu_L = 1$ ).

1.4 Calculer la valeur de cette accélération maximale.

1.5 Calculer la vitesse maximale que le véhicule peut atteindre en première.

1.6 On admet que le mouvement du véhicule est un mouvement de translation rectiligne uniformément varié ; déterminer la durée nécessaire pour atteindre la vitesse maximale en première.

Deuxième partie

On se propose, dans cette partie, de déterminer la durée nécessaire pour passer de la position du mécanisme ouverture de soupape minimum (0,3mm d'ouverture) à la position ouverture de soupape maximum (9,7mm d'ouverture). Ce temps de réponse va dépendre de la puissance du moteur électrique 1, de l'inertie des différentes pièces et des efforts résistants dus essentiellement au ressort 8.

**2.1 Etude du ressort 8.**

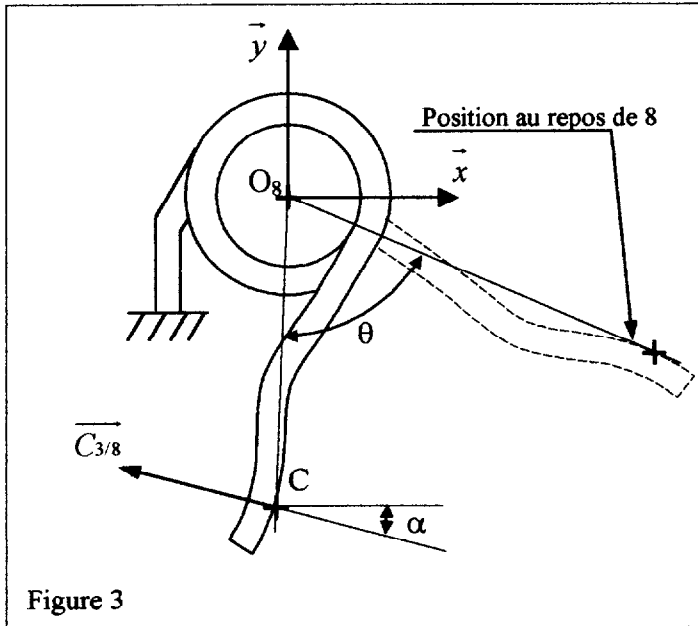


Figure 3

On donne :

- la raideur du ressort 8 :  $k_8 = 26,8 \text{ N.m/rad}$

- Les angles :  $\theta = 75^\circ$  et  $\alpha = 15^\circ$

- La position du point C :  $\vec{C} = \begin{pmatrix} -0,003 \\ -0,037 \\ 0 \end{pmatrix}_{(O_8, \vec{x}, \vec{y})}$  en m

2.1.1 Donner la relation permettant de calculer le moment de rappel  $M_{O_8}$  du ressort 8 en fonction de  $\theta$  et de  $k_8$ , on précisera les unités. Calculer la valeur numérique de ce couple pour  $\theta = 75^\circ$ .

2.1.2 Quel que soit le résultat trouvé à la question précédente, on prendra  $M_{O_8} = 35,1 \text{ Nm}$ . Déterminer la force exercée par le levier intermédiaire 3 sur le ressort 8 :  $\vec{C}_{3/8}$ .

**2.2 Etude de l'équilibre du levier intermédiaire 3 muni de ses galets 3a, 3b.**

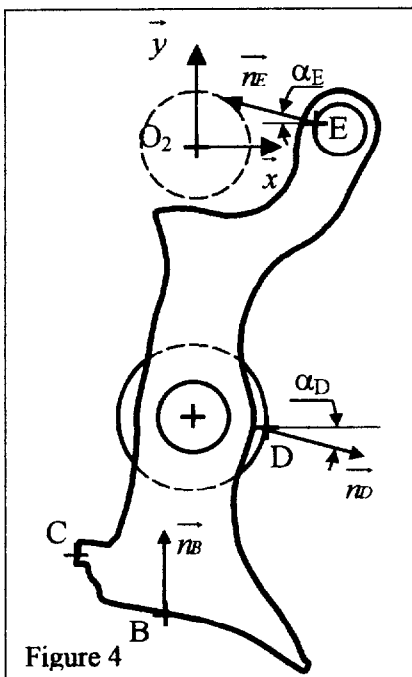


Figure 4

Les galets 3a et 3b roulent sans glisser sur la came 4 et l'excentrique 2. De même, le galet 5a roule sans glisser sur 3. Les liaisons en B, D, E sont modélisées par des liaisons ponctuelles de normales  $\vec{n}_B$ ,  $\vec{n}_D$  et  $\vec{n}_E$ . Ces

vecteurs unitaires sont représentés (dans la position étudiée) sur la figure ci-contre et ont pour composantes dans le repère  $(O_2, x, y, z)$  :

$$\vec{n}_B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}; \vec{n}_D = \begin{pmatrix} 0,99 \\ -0,11 \\ 0 \end{pmatrix}; \vec{n}_E = \begin{pmatrix} -0,98 \\ 0,17 \\ 0 \end{pmatrix}; \text{ soit } \alpha_E = 9,84^\circ \text{ et } \alpha_D = 6,34^\circ.$$

Pour simplifier la notation on appellera 3 l'ensemble constitué des pièces 3, 3a et 3b.

On donne les composantes des vecteurs distances en mètre :

$$\vec{DB} = \begin{pmatrix} -0,017 \\ -0,026 \\ 0 \end{pmatrix}, \vec{DC} = \begin{pmatrix} -0,028 \\ -0,017 \\ 0 \end{pmatrix}, \vec{DE} = \begin{pmatrix} 0,008 \\ 0,039 \\ 0 \end{pmatrix}, \vec{O_2E} = \begin{pmatrix} 0,018 \\ 0,001 \\ 0 \end{pmatrix}$$

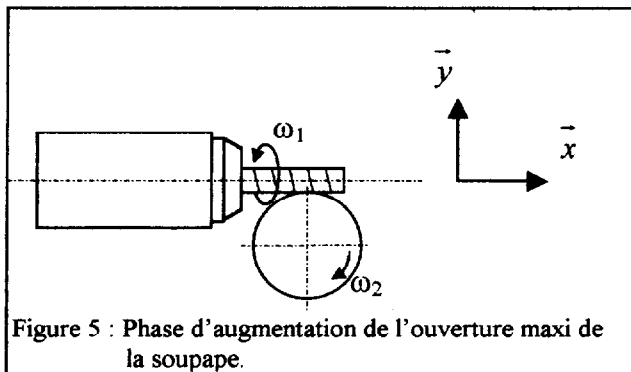
2.2.1 Montrer que les composantes des vecteurs forces  $\vec{E}_{2/3}$  et  $\vec{D}_{4/3}$  sont liées par les relations :  
 $X_E = -5.8Y_E$  et  $X_D = -9Y_D$ .

2.2.2 Quel que soit le résultat trouvé à la question 2.1.2, on prendra la force  $\vec{C}_{8/3} = 930\vec{x} - 250\vec{y}$ . En admettant que l'ensemble 3 est en équilibre, déterminer la force  $\vec{E}_{2/3}$ . (Il est conseillé de calculer les moments au point D).

2.3 Quel que soit le résultat trouvé à la question 2.1.2, on prendra la force  $\vec{E}_{2/3} = 490\vec{x} - 85\vec{y}$ .

Le moment calculé au point  $O_2$ , dû à la force  $\vec{E}_{3/2}$ , est le moment résistant à la rotation de l'excentrique 2. Calculer ce vecteur moment (noté  $\vec{M}_{O_2(3/2)}$ ). En déduire le moment résistant à la rotation de l'excentrique dû à l'ensemble des 8 leviers intermédiaires (le mécanisme complet est représenté sur le document DT2). Ce moment sera noté  $M_{O_2(3/2)}^{\text{total}}$ .

#### 2.4 Détermination du temps de réponse



On notera la vitesse angulaire du rotor 1 du moteur électrique et de l'arbre à excentrique 2 par rapport à la culasse 0 :

$\omega_1 = \omega_{1/0}$  et  $\omega_2 = \omega_{2/0} = \theta'_2$  avec  $\theta'_2$  la dérivée par rapport au temps de la position angulaire  $\theta_2$ , de l'arbre 2.

On notera l'accélération angulaire de l'arbre à excentrique 2 par rapport à la culasse :  $\theta''_2 = \omega'_2$

Le rapport de transmission du réducteur roue et vis sans fin vaut :  $\rho = \frac{\omega_1}{\omega_2} = 52$

On suppose le couple moteur constant sur sa plage de fonctionnement :  $C_{\text{mot}} = -0,35\text{Nm}$

Les inerties de rotor du moteur électrique 1 et de l'arbre à excentrique 2 valent :  $J_{\text{rotor}} = J_1 = 1,35 \cdot 10^{-5} \text{ kg.m}^2$  et  $J_2 = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2$ .

Pour passer de la position ouverture de soupape minimum (0,3 mm) à la position ouverture de soupape maximum (9,7 mm), l'arbre à excentrique 2 parcourt un angle de  $160^\circ$ .

Pour information, on peut noter qu'en phase d'augmentation de l'ouverture maxi de la soupape :  $\omega_1 < 0$ ,  $\omega_2 < 0$  et  $C_{\text{mot}} < 0$  (par rapport au repère figure 5).

Travail demandé TD 5

On rappelle le théorème de l'énergie cinétique appliqué à un ensemble de solides S en mouvement par rapport à un repère fixe 0 :

$$\frac{d(T_{(S/0)})}{dt} = P_{(AM \text{ intérieures})} + P_{(AM \text{ extérieures})}$$

Avec :

$T_{(S/0)}$  L'énergie cinétique de S en mouvement par rapport à 0,

$P_{(AM \text{ intérieures})}$  la puissance de toutes les actions mécaniques intérieures à S,

$P_{(AM \text{ extérieures})}$  la puissance de toutes les actions mécaniques extérieures à S.

2.4.1 Exprimer l'énergie cinétique  $T_{(S/0)}$  de l'ensemble  $S = \{1, 2\}$  (le solide 1 étant le rotor du moteur électrique) en fonction de  $J_1$ ,  $J_2$ ,  $\omega_2$  et  $\rho$ . En déduire la dérivée par rapport au temps de l'énergie cinétique de S en fonction de  $J_1$ ,  $J_2$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_2'$  et  $\rho$ .

2.4.2 Expliquer pourquoi la puissance des actions mécaniques intérieures est nulle.

2.4.3 En supposant que le moment résistant à la rotation de l'excentrique dû à l'ensemble des 8 leviers intermédiaires,  $\overline{M_{O_2(3/2)}^{\text{total}}}$ , est constant au cours du mouvement de l'arbre à excentrique 2, calculer  $P_{(AM \text{ extérieures})}$  en fonction de  $C_{\text{mot}}$ ,  $M_{O_2(3/2)}^{\text{total}}$ ,  $\omega_2$  et  $\rho$ .

2.4.4 En appliquant le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble S, montrer que l'accélération angulaire de l'arbre à excentrique 2 peut se mettre sous la forme :

$$\theta_2'' = \omega_2' = \frac{M_{O_2(3/2)}^{\text{total}} + C_{\text{mot}} \cdot \rho}{J_1 \cdot \rho^2 + J_2}$$

2.4.5 Comparer les valeurs numériques des deux termes du dénominateur de la formule ci-dessus et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme :  $\theta_2'' = \omega_2' = \frac{M_{O_2(3/2)}^{\text{total}} + C_{\text{mot}} \cdot \rho}{J_1 \cdot \rho^2}$

2.4.6 Calculer la valeur numérique de l'accélération angulaire de l'arbre à excentrique 2. Quelle que soit la réponse trouvée à la question 2.3 on prendra  $M_{O_2(3/2)}^{\text{total}} = 16 \text{ Nm}$ .

2.4.7 On admet que le mouvement de 2/0 est un mouvement de rotation uniformément accéléré.

A l'aide des équations de mouvement déterminer la durée (temps de réponse) pour que le système passe de la position ouverture de soupape minimum (0,3mm) à la position ouverture de soupape maximum (9,7mm). (ce qui correspond à une rotation de 2 égale à :  $\theta_{2/0} = -160^\circ$ ).

2.4.8 Comparer le temps de réponse avec la durée trouvée à la question 1.5.