

Examen : <b>BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR</b>	Code : MAVPM	
Spécialité : <b>MAINTENANCE ET APRES-VENTE AUTOMOBILE</b>	Session : 2003	
Epreuve : <b>VERIFICATION DES PERFORMANCES D'UN MECANISME U4</b>	Durée : 6h	Coef : 4

## VERIFICATION DES PERFORMANCES D'UN MECANISME

Le sujet est constitué de deux études indépendantes sur une  
**DISTRIBUTION TOTALEMENT VARIABLE.**

### PREMIERE ETUDE : COMPORTEMENT THERMODYNAMIQUE D'UN MOTEUR EN CHARGE PARTIELLE.

Le sujet se compose :

- Document technique DT 1 à DT 6, pages 1/15 à 5/15
- Travail demandé TD 1 et TD 2, pages 6/15 et 7/15
- Document réponse DR 1 et DR 2, pages 8/15 et 9/15

### DEUXIEME ETUDE : MECANISME DE LEVEE VARIABLE DE SOUPAPE.

Le sujet se compose :

- Document technique DT 7 et DT 8, pages 10/15 et 11/15
- Travail demandé TD 3 à TD 6, pages 12/15 à 15/15

### Barème /200

#### Première étude : COMPORTEMENT THERMODYNAMIQUE D'UN MOTEUR EN CHARGE PARTIELLE.

N°	1.1	1.2.1	1.2.2	1.2.3	1.3.1	1.3.2	1.3.3	1.3.4
Poids	4	4	4	8	5	5	5	4

N°	1.4.	1.5.1	1.5.2	1.5.3	1.5.4	2.1.1	2.1.2	2.1.3
Poids	4	5	4	4	4	4	5	4

N°	2.1.4	2.1.5	2.2.1	2.2.2	2.2.3	2.2.4
Poids	4	5	6	4	4	4

#### Deuxième étude : MECANISME DE LEVEE VARIABLE DE SOUPAPE.

N°	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	16	2.1.1	2.1.2	2.2.1	2.2.2
Poids	5	2	7	2	3	5	4	6	4	15

N°	2.3	2.4.1	2.4.2	2.4.3	2.4.4	2.4.5	2.4.6	2.4.7	2.4.8
Poids	3	8	2	6	6	5	4	8	5

**AUCUN DOCUMENT N'EST AUTORISE**

**L'usage de la calculatrice est autorisé**

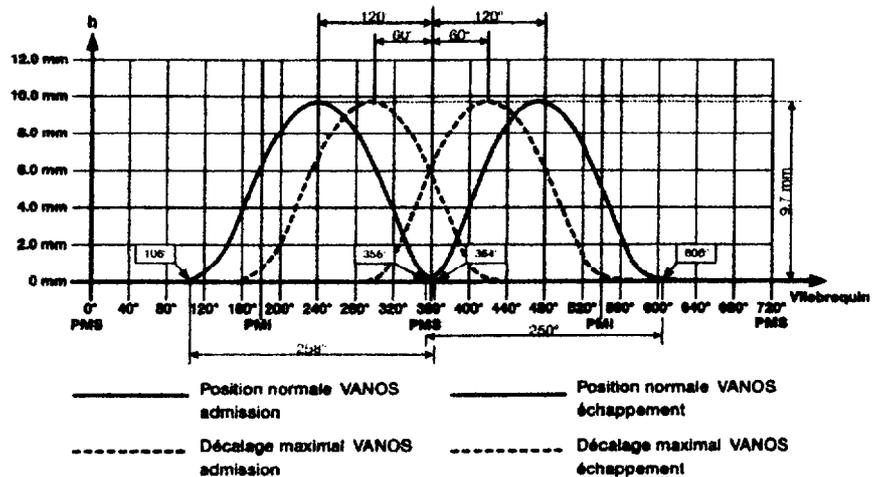
# COMPORTEMENT THERMODYNAMIQUE D'UN MOTEUR EN CHARGE PARTIELLE

## 1- PRESENTATION ET OBJECTIFS

Deux systèmes mécaniques permettent de rendre la distribution entièrement variable :

### 1) Le VANOS :

Il permet de modifier en continu le calage de la distribution (non étudié dans ce sujet).

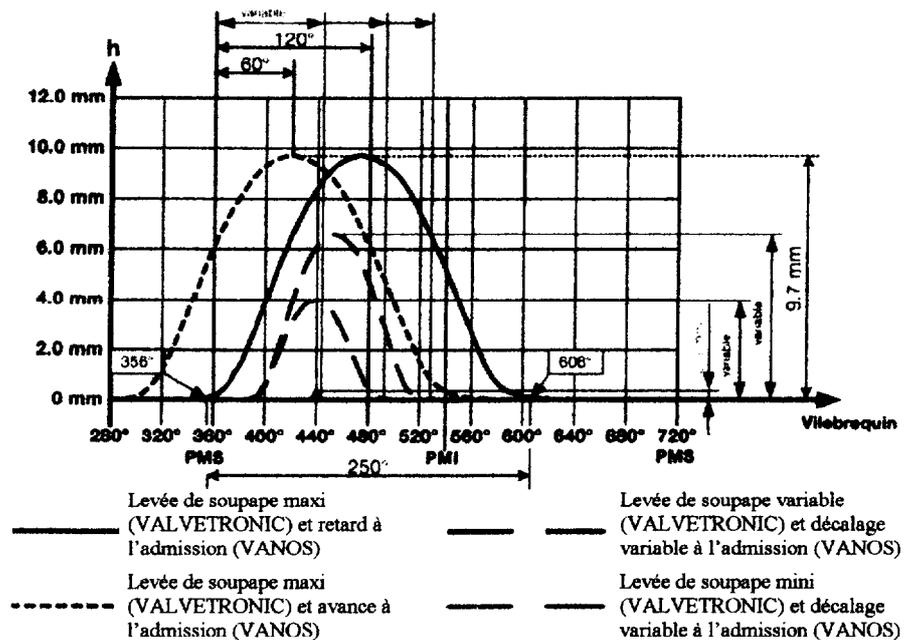


### 2) Le VALVETRONIC

Il permet de modifier en continu la valeur de la levée des soupapes d'admission dans une plage de 0,3 mm à 9,7mm.

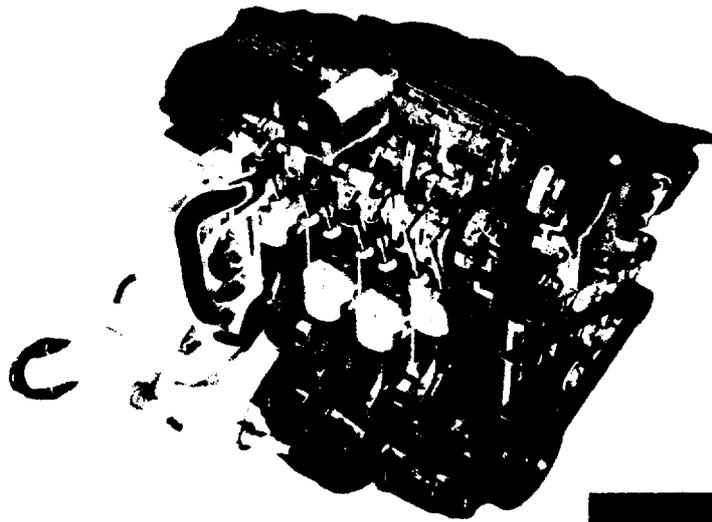
Ce système permet de ne pas utiliser le papillon des gaz qui est très coûteux en énergie, notamment dans la zone de charge partielle.

Le débit des gaz frais est alors régulé en intervenant sur la levée des soupapes.



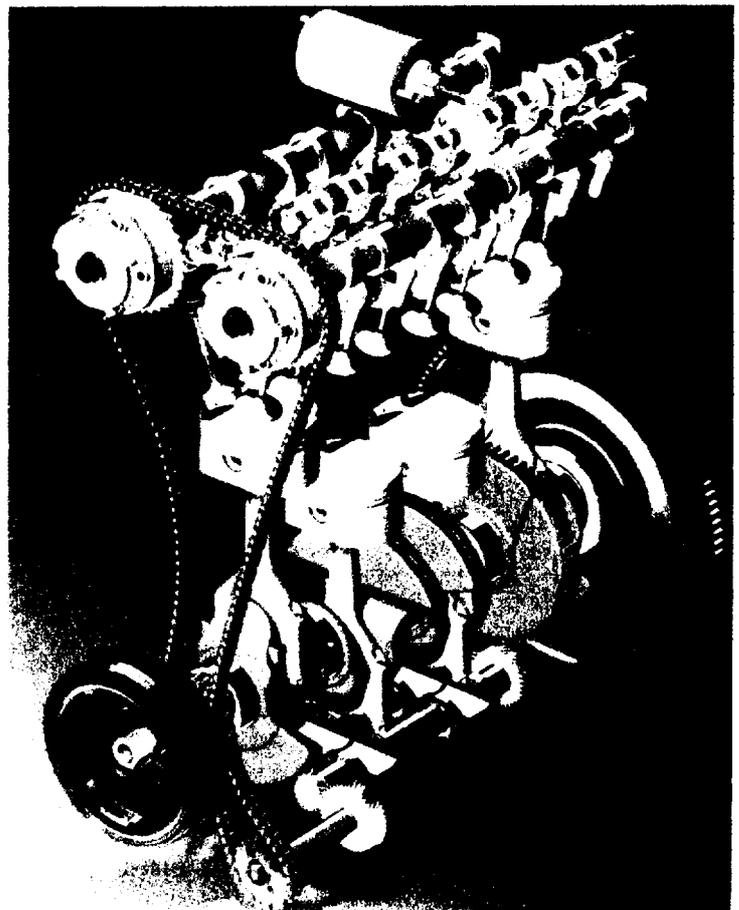
Cette étude a pour but de mettre en évidence le gain énergétique apporté par la distribution entièrement variable lorsque le moteur est en charge partielle.

On va donc comparer la phase d'admission du moteur sans distribution variable (pour une ouverture partielle du papillon des gaz) avec la phase d'admission du moteur avec la distribution variable.



Moteur N42 B18

Distribution du moteur N42 B18 avec le système Valvetronic



## 2- MODELISATION DU COMPORTEMENT THERMODYNAMIQUE DU SYSTEME VALVETRONIC.

### 2.1- HYPOTHESES

- 1) Toutes les transformations sont supposées réversibles.
- 2) Le mélange se comporte comme un gaz parfait.
- 3) En phase d'admission et de refoulement, lorsque les soupapes sont ouvertes, on supposera l'écoulement permanent et on négligera les variations d'énergie cinétique et d'énergie potentielle de pesanteur.

## 2.2- Description des cycles thermodynamiques

Cycle sans distribution variable (voir document technique DT5)	Cycle avec distribution variable (voir document technique DT6)
<b>Phase d'admission</b>	
<p>Conditions atmosphériques :  <math>p_{atm} = 10^5 \text{ Pa}</math>, <math>T_{atm} = 296\text{K}</math>.</p> <p><b>Opération 1-2 : opération mécanique de transvasement isobare et isotherme</b>            La pression et la température des gaz admis dans le cylindre (à déterminer) sont supposées constantes durant la phase d'admission :  <math>T_1 = T_2</math> (question 122) et <math>p_1 = p_2</math> (question 123).</p>	<p>Conditions atmosphériques :  <math>p_{atm} = 10^5 \text{ Pa}</math>, <math>T_{atm} = 296\text{K}</math>.</p> <p><b>Opération 1v-1'v : opération mécanique de transvasement isobare et isotherme</b>            Tant que la soupape d'admission est ouverte, on a une opération mécanique de transvasement.            La pression et la température des gaz admis dans le cylindre (à déterminer) sont supposées constantes <math>T_{1v} = T_{1'v}</math> (question 211) et <math>p_{1v} = p_{1'v}</math> (question 212).</p> <p><b>Transformation 1'v-2v : polytropique réversible</b>            Dès que la soupape se ferme, on modélise l'évolution par une transformation polytropique réversible qui permet d'approcher l'évolution réelle.            telle que : <math>p_{1'v} V_{1'v}^k = p_{2v} V_{2v}^k</math>  <math display="block">W_{1'v \rightarrow 2v} = m \frac{r}{k-1} (T_{2v} - T_{1'v})</math>            k est le coefficient polytropique.            m est la masse de mélange.  <math>W_{1'v \rightarrow 2v}</math> est le travail échangé au cours de la transformation 1'v-2v</p>
<b>Phase de compression</b>	
Transformation 2-3 : adiabatique réversible	Transformation 2v-3v : adiabatique réversible
<b>Phase de combustion</b>	
<p><b>Transformation 3-4 : isochore</b>            On évalue la température de fin de combustion à : <math>T_4 = T_3 + 2000</math> (relation 1)</p>	<p><b>Transformation 3v-4v : isochore</b>            On évalue la température de fin de combustion à : <math>T_{4v} = T_{3v} + 2000</math> (relation 2)</p>
<b>Phase de détente</b>	
Transformation 4-5 : adiabatique réversible	Transformation 4v-5v : adiabatique réversible
<b>Phase d'ouverture de la soupape d'échappement</b>	
Transformation 5-6 : isochore	Transformation 5v-6v : isochore
<b>Phase de refoulement des gaz brûlés</b>	
<p><b>Opération 6-7 : opération mécanique de transvasement telle que : <math>p_6 = p_7 = 10^5 \text{ Pa}</math>, <math>T_6 = T_7</math></b></p>	<p><b>Opération 6v-7v : opération mécanique de transvasement telle que <math>p_{6v} = p_{7v} = 10^5 \text{ Pa}</math>, <math>T_{6v} = T_{7v}</math></b></p>

### Fin de phase de refoulement – début de phase d'admission

#### Transformation 7-1 : isochore

Cette dernière transformation se réalise lorsque les deux soupapes sont ouvertes.

On suppose que la chute de pression et de température à la fermeture de la soupape d'échappement et à l'ouverture de la soupape d'admission sont instantanées.

#### Transformation 7v-1v : isochore

(Idem que pour un cycle sans distribution variable)

### 3- CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

**Moteur N42B18 :**

4 cylindres en ligne  
cylindrée :  $1796 \text{ cm}^3$

**Rapport volumétrique :**

$$\varepsilon = \frac{V_2}{V_1} = 10$$

**Conditions atmosphérique :**

$$p_{atm} = 10^5 \text{ Pa}, T_{ambiante} = 296 \text{ K}$$

**Caractéristiques du gaz :**

$$\gamma = 1.4$$

$$C_p = 1000 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

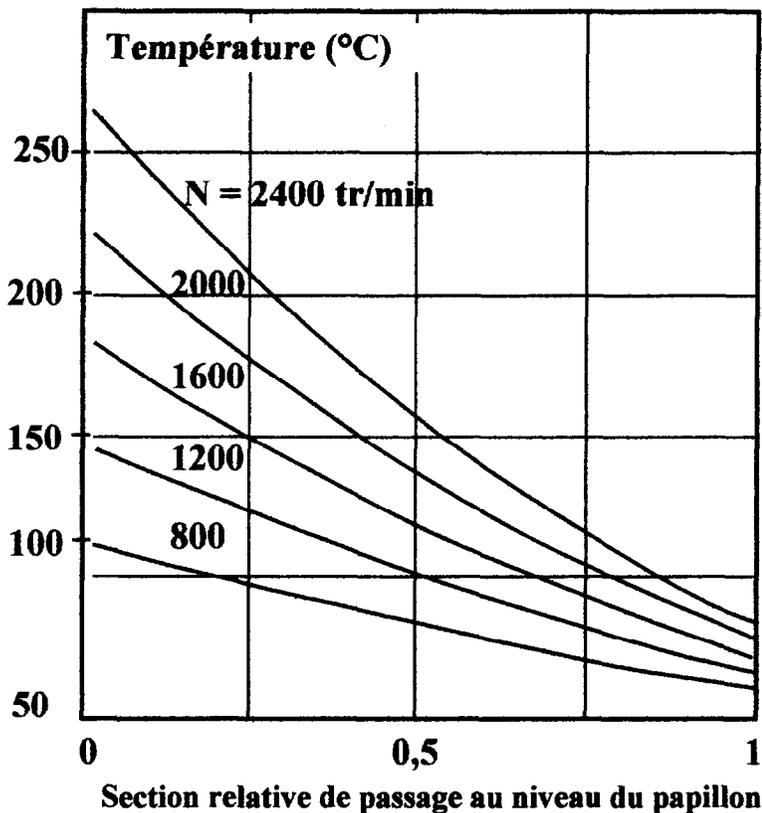
$$C_v = 714 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$r = 286 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

**Coefficient polytropique :**

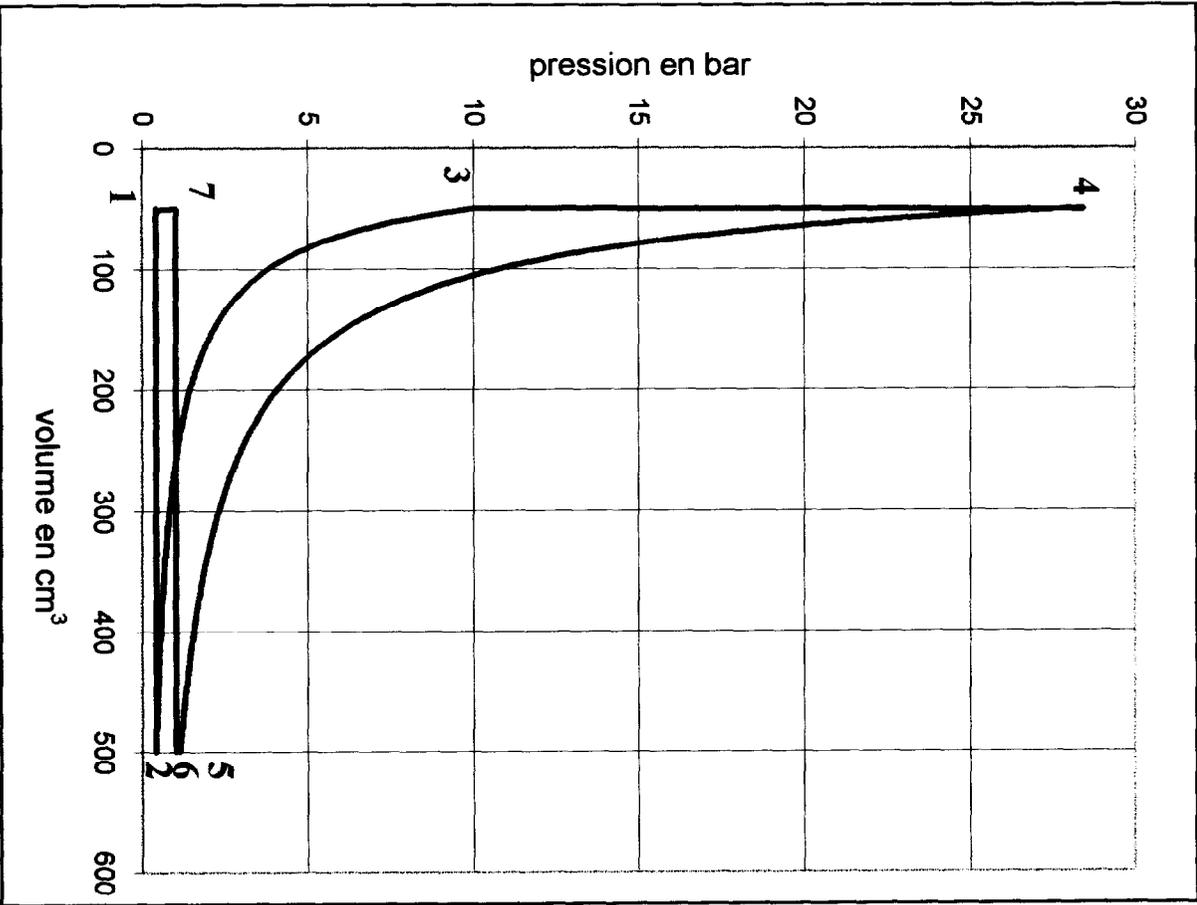
$$k = 1,1$$

**Rendement de forme du cycle (2, 3, 4, 5, 6, 2) :**  $\eta_f = 0,8$

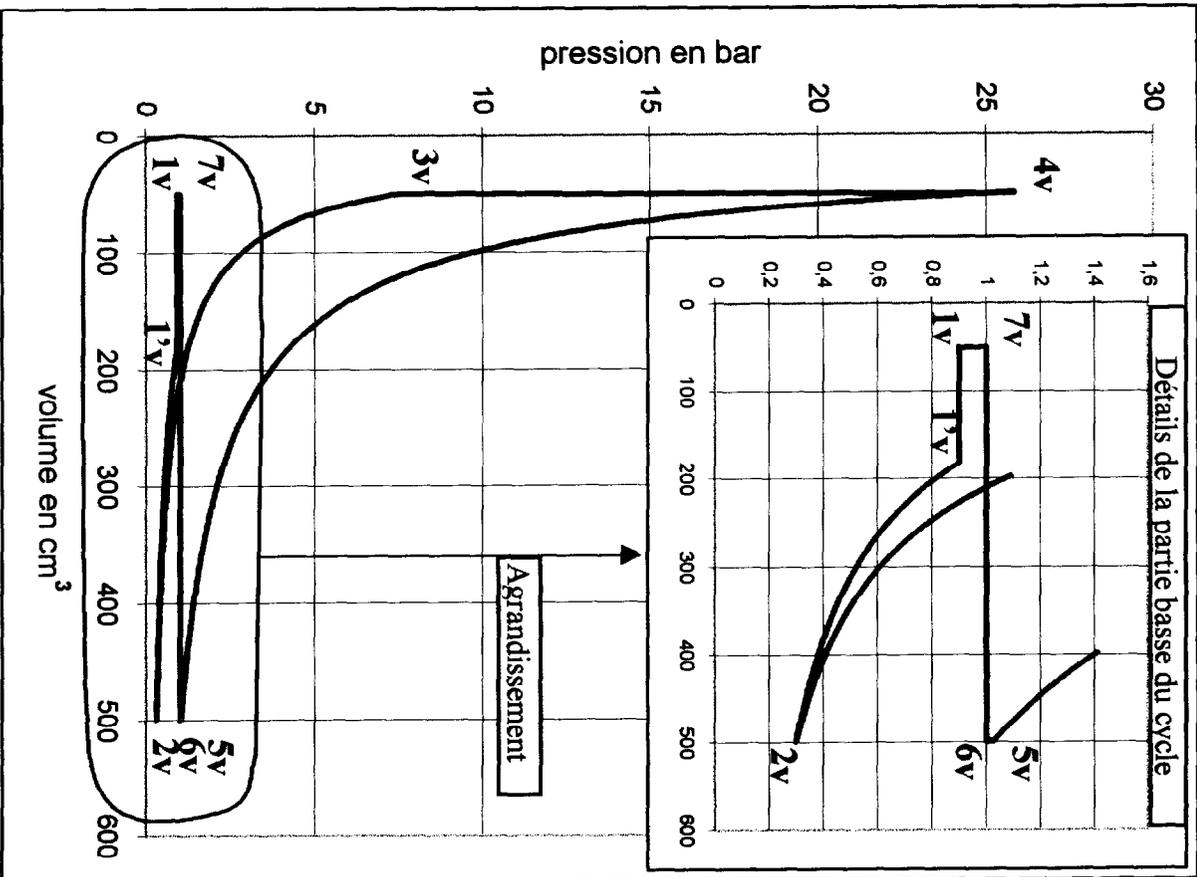


Relevés expérimentaux donnant la température des gaz entrant dans le moteur en fonction de l'ouverture papillon et du régime moteur.

**DOCUMENT TECHNIQUE DT5**  
**Cycle sans distribution variable**



**DOCUMENT TECHNIQUE DT6**  
**Cycle avec distribution variable**



## TRAVAIL DEMANDE

Cette étude doit permettre :

- 1- L'estimation du travail fourni par le cycle thermodynamique et l'estimation de la proportion de travail dissipé pour réaliser les opérations de transvasement en phase d'admission et de refoulement pour un moteur sans distribution variable.
- 2- L'estimation du gain énergétique réalisé sur la boucle basse pression avec un moteur équipé du système VALVETRONIC.

**Pour l'ensemble du cycle, on raisonne sur un seul cylindre et pour un régime  $N = 2400 \text{ tr.min}^{-1}$**

### Première partie : étude du cycle sans VALVETRONIC

On admet que le cycle effectué par les gaz au dessus du piston est formé de deux boucles :

- boucle 2, 3, 4, 5, 6, 2 : cycle effectué en vase clos,
- boucle de changement de charge 1,2,6,7,1 : phases d'admission et d'échappement.

#### 1.1 Calcul de $V_1$ et $V_2$ .

A partir des données du constructeur, déterminer  $V_1$  et  $V_2$ .

#### 1.2 Etude de la phase d'admission

##### Hypothèses :

- 1) La température de la charge fraîche en fin d'admission ( $T_2$ ) est donnée, pour différents régimes moteur, par les courbes fournies document DT4.
- 2) En fin d'admission (état 2), la masse de mélange située dans le cylindre s'exprime en fonction de la pression  $p_2$  régnant dans le cylindre par la relation (3) :

$$(3) \quad \frac{m}{m_{\text{atm}}} = 1,2 * \frac{p_2}{p_{\text{atm}}} - 0,2$$

avec :

$m$  : la masse de mélange située dans le cylindre à la température et à la pression d'admission.

$m_{\text{atm}}$  : la masse de mélange qui serait située dans le cylindre à la température ambiante et à la pression atmosphérique.

Cette relation permet de prendre en compte la perte de charge induite par le papillon et ses conséquences sur la masse de mélange admise.

- 3) On se place à mi-ouverture de la section relative de passage du papillon.

- 1.2.1 A l'aide de l'équation caractéristique des gaz parfaits, calculer la valeur de la masse de gaz  $m_{\text{atm}}$  qui serait située au point mort bas dans le cylindre à pression atmosphérique (1 bar) et température ambiante (23°C).
- 1.2.2 A l'aide des courbes du document DT4 et des données du problème, déterminer  $T_2$ .
- 1.2.3 Exprimer  $p_2$  en fonction de  $m$  à l'aide l'équation caractéristique des gaz parfaits à l'état 2, puis utiliser la relation (3) pour calculer la masse de gaz  $m$  située dans le cylindre, au point mort bas, à mi-ouverture du papillon. En déduire la valeur de la pression  $p_2$ .

**Quels que soient les résultats trouvés, on utilisera les valeurs suivantes pour la suite du problème :  $T_2 = 430 \text{ K}$ ,  $p_2 = 0,4 \text{ bar}$ ,  $V_2 = 499 \text{ cm}^3$ ,  $V_1 = 49,9 \text{ cm}^3$ ,  $m = 0,16 \text{ g}$ .**

#### 1.3 Etude du cycle réalisé en vase clos (boucle 2, 3, 4, 5, 6, 2)

1.3.1 Calculer  $p_3$ ,  $T_3$ ,  $W_{2 \rightarrow 3}$ .

1.3.2 Calculer  $T_4$  d'après la relation (1) du document DT3, puis déterminer  $p_4$  et  $W_{3 \rightarrow 4}$ .

1.3.3 Calculer  $p_5$ ,  $T_5$  et  $W_{4 \rightarrow 5}$ .

1.3.4 Calculer  $W_{5 \rightarrow 2}$

**1.4 Etude de la boucle de changement de charge (1,2,6,7,1) : phases d'admission et d'échappement.**

Elle est constituée de deux opérations mécaniques de transvasement  $1 \rightarrow 2$  et  $6 \rightarrow 7$  et de deux isochores  $2 \rightarrow 6$  et  $7 \rightarrow 1$ . Calculer les travaux échangés :  $W_{1 \rightarrow 2}$ ,  $W_{2 \rightarrow 6}$ ,  $W_{6 \rightarrow 7}$  et  $W_{7 \rightarrow 1}$ .

**1.5 Conclusions**

1.5.1 Hachurer en rouge, sur le document DR1, l'aire correspondant au travail du cycle (boucle 2, 3, 4, 5, 6, 2). Calculer le travail thermodynamique (théorique) de ce cycle et en déduire la valeur du travail utile (indiqué) en tenant compte de son rendement de forme ( $\eta_f = 0,8$ ). Remplir le tableau du document DR1 (page 8/15).

1.5.2 Hachurer en bleu, sur le document DR1, l'aire correspondant au travail dissipé pour admettre et refouler le gaz, (c'est à dire le travail dissipé pour réaliser les opérations de transvasement  $6 \rightarrow 7$ ,  $1 \rightarrow 2$ ). Déterminer ensuite la valeur de ce travail.

1.5.3 Le taux de pertes dues aux opérations de transvasement est défini par la relation suivante .

$$\tau_{\text{pertes}} = \frac{W_{\text{dissipé}}}{|W_{\text{utile}}|}, \text{ calculer le taux de ces pertes ; est-il négligeable ?}$$

**Deuxième partie : étude du cycle avec Valvetronic****Hypothèses :**

- 1) On suppose que la même masse de mélange ( $m=0,16$  g) est admise afin de se trouver dans une situation comparable, en terme de consommation, au cas du cycle sans distribution variable.
- 2) On suppose que les courbes du document DT4 restent valables pour l'étude du VALVETRONIC.
- 3) Le cycle complet est constitué de deux boucles, (1v, 1'v, 2v, 6v, 7v, 1v) et (2v, 3v, 4v, 5v, 2v).

**2.1 Etude de la phase d'admission avec le système VALVETRONIC (N = 2400 tr/min)**

2.1.1 Relever la valeur de la température à pleine ouverture du papillon à l'aide des courbes du document DT4. On supposera que cette valeur correspond à  $T_{1'v}$ .

2.1.2 Sachant que la soupape se ferme pour  $V_{1'v} = 183 \text{ cm}^3$ , calculer  $p_{1'v}$  en utilisant la relation des gaz parfaits pour l'état 1'v. Puis en utilisant la relation qui caractérise une évolution polytropique, voir document DT3, calculer  $p_{2v}$  et  $T_{2v}$ .

2.1.3 Calculer les travaux échangés  $W_{1v \rightarrow 1'v}$  et  $W_{1'v \rightarrow 2v}$ .

2.1.4 A l'aide des résultats du tableau du document réponse DR2 et des résultats de la question précédente, évaluer la valeur du travail dissipé pour admettre et refouler le mélange (boucle 1v, 1'v, 2v, 6v, 7v, 1v).

2.1.5 Remplir le tableau du document réponse DR2, puis hachurer en vert le travail dissipé.

**2.2 Conclusions**

2.2.1 Calculer le travail utile (indiqué) du cycle (2v, 3v, 4v, 5v, 2v). Le rendement de forme de ce cycle est égal à :  $\eta_f = 0,8$ . On relèvera les valeurs utiles dans le tableau du document réponse DR2.

2.2.2 Quel que soit le résultat trouvé à la question précédente, on prendra  $W_{\text{utile}} = -110$  J. Calculer Le taux de pertes (voir question 153).

2.2.3 Calculer le travail fourni au moteur par les gaz pour chacun des deux cycles complets (sans et avec VALVETRONIC). En déduire le gain réalisé et conclure sur l'utilité du VALVETRONIC.

2.2.4 Comparer les relevés expérimentaux donnés page 9/15. avec les modèles proposés page 5/15.

2.2.5 Les modèles sont-ils en accord avec les résultats expérimentaux ?

**DOCUMENT REPONSE DR1**

**1<sup>ère</sup> partie cycle sans distribution variable**

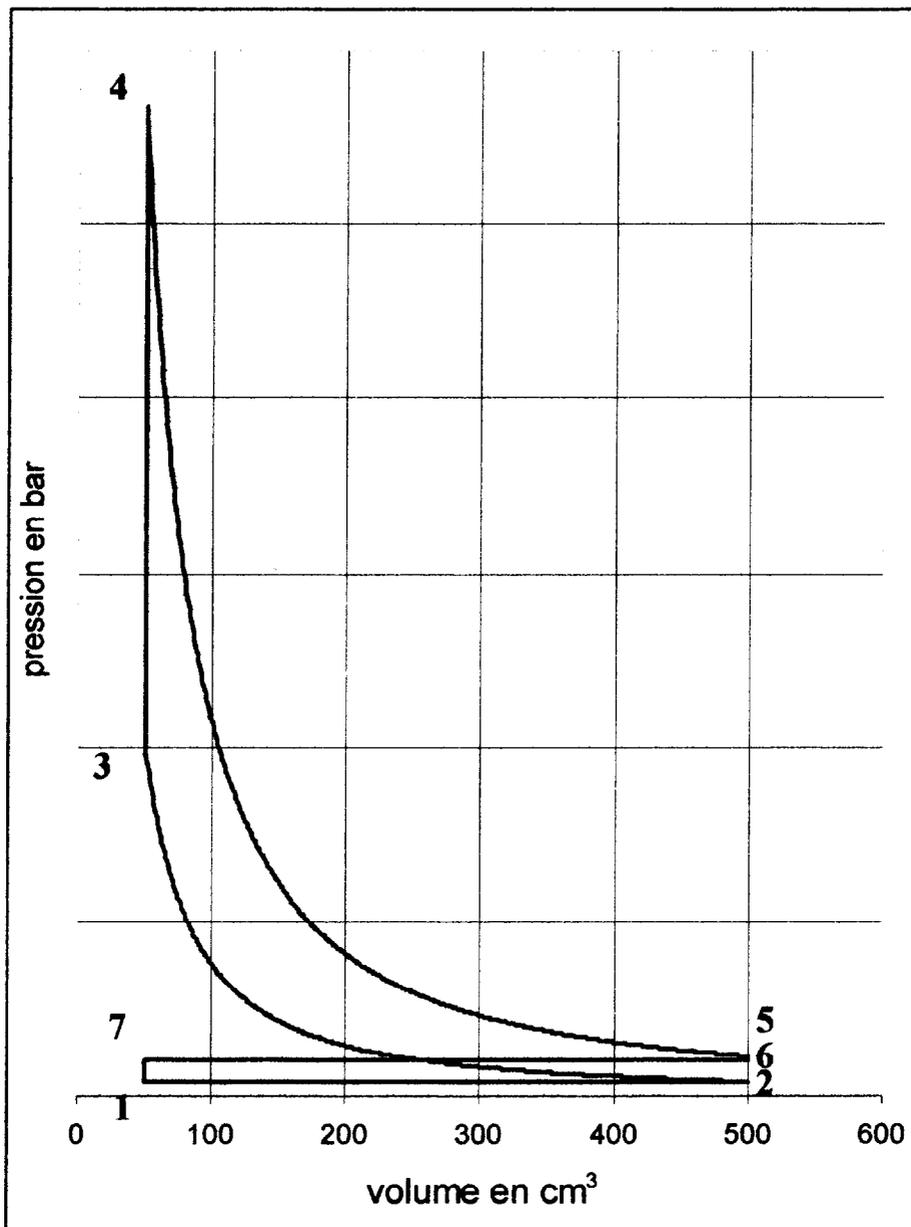
1.5.1

	1	2	3	4	5	6	7
p (bar)						1	1
V (cm <sup>3</sup> )							
T (K)							

1.5.1

$W_{1 \rightarrow 2}$	$W_{2 \rightarrow 3}$	$W_{3 \rightarrow 4}$	$W_{4 \rightarrow 5}$	$W_{5 \rightarrow 2}$	$W_{6 \rightarrow 7}$	$W_{7 \rightarrow 1}$	$W_{utile}$	$W_{dissipé}$

1.5.2



## DOCUMENT REPONSE DR2

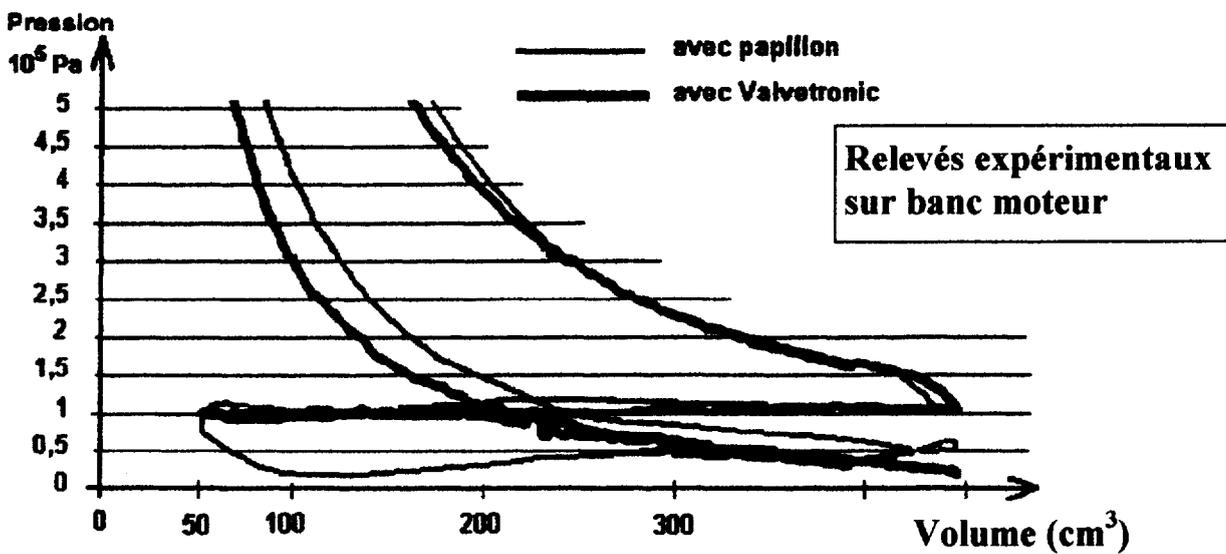
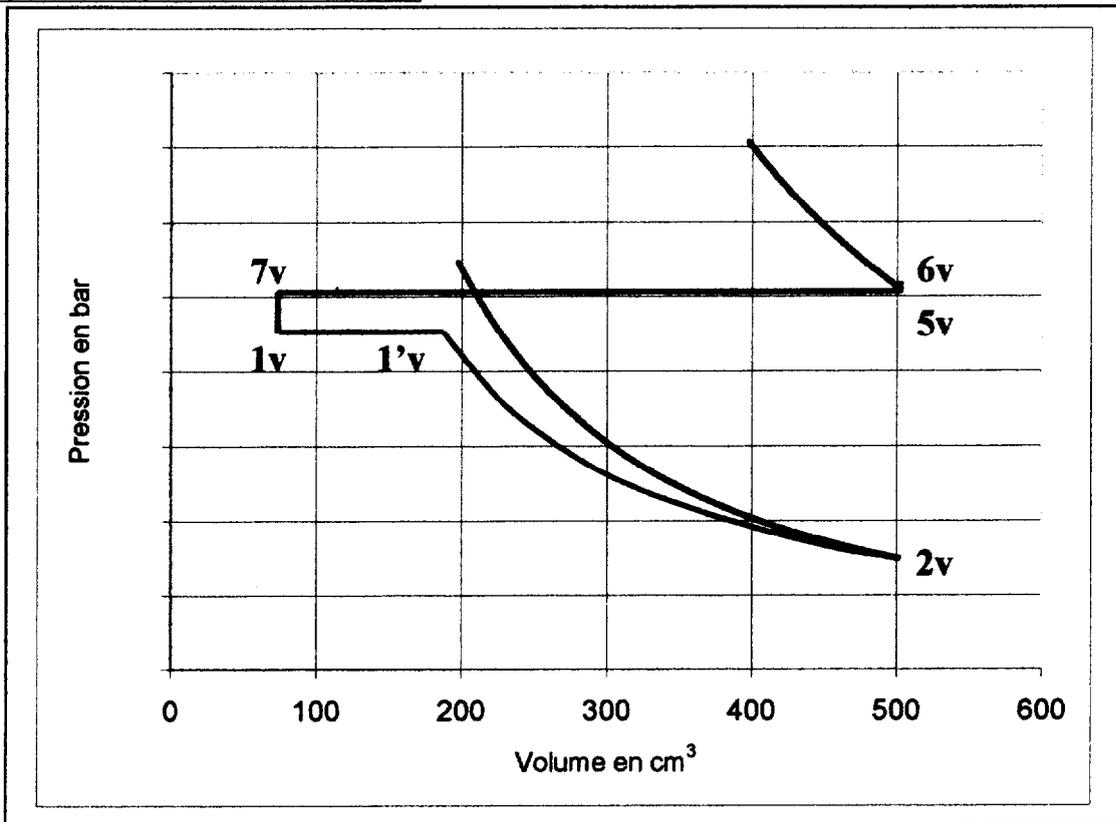
### 2<sup>ème</sup> partie étude du cycle avec VALVETRONIC

2.1

	1v	1'v	2v	3v	4v	5v	6v	7v
P(bar)				7,51	25,84	1,03	1,00	1,00
V (cm <sup>3</sup> )	49,9	183	499	49,9	49,9	499	499	49,9
T (K)				818	2818	1123		

2.1 et 2.2

$W_{1v \rightarrow 1'v}$	$W_{1'v \rightarrow 2v}$	$W_{utile}$	$W_{dissipé}$



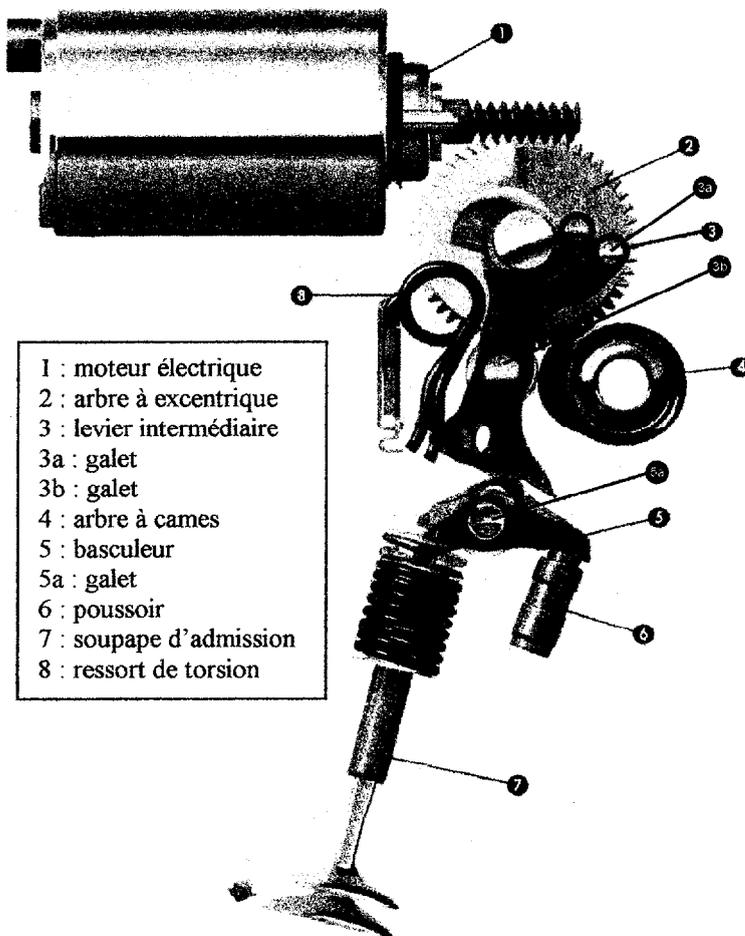
## MECANISME DE LEVEE VARIABLE DE SOUPAPES

### 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 3 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

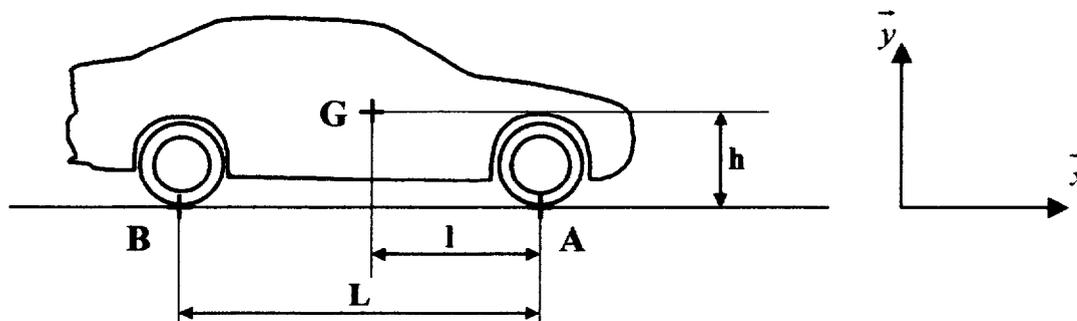


Figure 2 : vue de profil du véhicule étudié

$L = 2.7 \text{ m}$

$l = 1.37 \text{ m}$

$h = 0.58 \text{ m}$

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 :  $\vec{B}_{\text{sol/pneus}} = T \cdot \vec{x} + N \cdot \vec{y}$  ; 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.

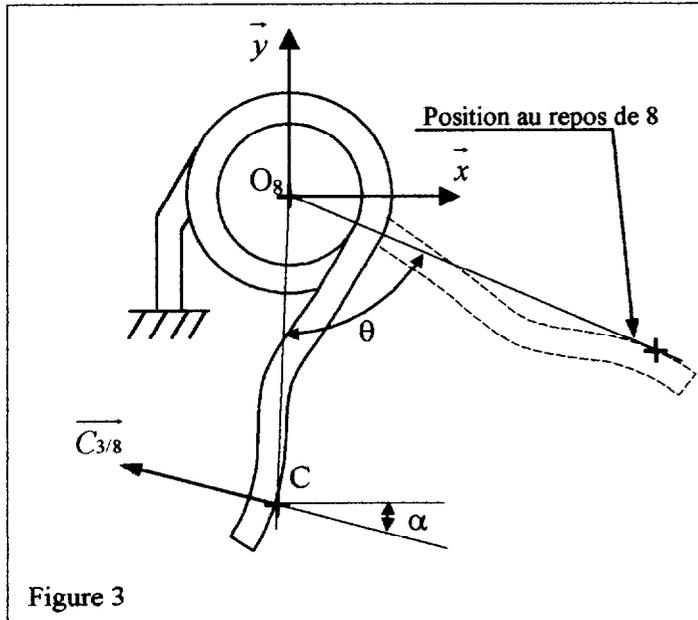
1.5 Calculer la vitesse maximale que le véhicule peut atteindre en première.

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.



On donne :

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

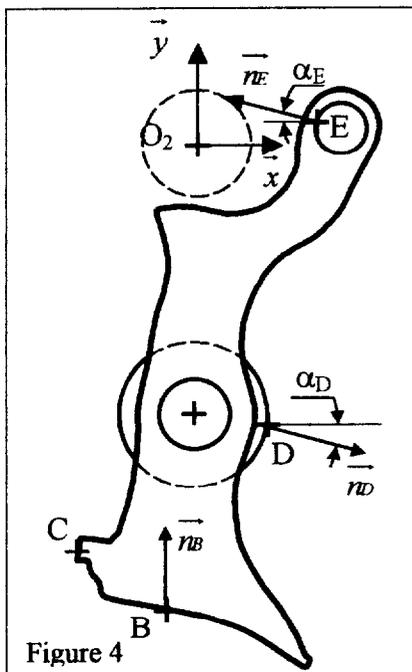
- Les angles :  $\theta = 75^\circ$  et  $\alpha = 15^\circ$

- 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.



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 :

$$X_E = -5.8Y_E \text{ et } X_D = -9Y_D.$$

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

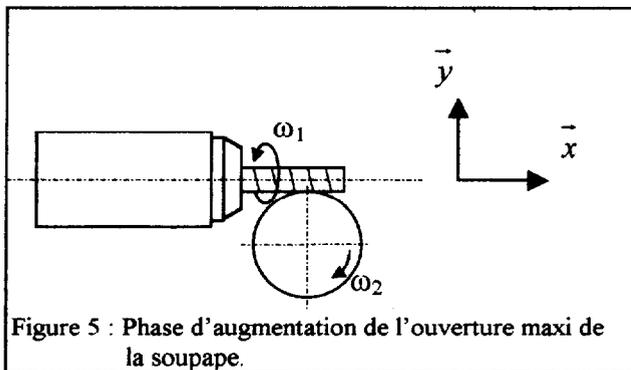


Figure 5 : Phase d'augmentation de l'ouverture maxi de la soupape.

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

$$\text{sans fin vaut : } \rho = \frac{\omega_1}{\omega_2} = 52$$

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.