

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

MOTEUR A COMBUSTION INTERNE

ETUDE DES CONSTRUCTIONS

Durée ----- : 6 heures

Coefficient ----- : 4

Distribution pneumatique

Matériels autorisés :

- Matériel du dessinateur (Té, équerre, compas ...)
- Aucune documentation de quelque nature que ce soit n'est autorisée.

Moyens de calculs autorisés :

- Calculatrice électronique de poche, y compris calculatrice programmable et alphanumérique à fonctionnement autonome, non imprimante.

Contenu du dossier :

- Dossier d'étude (pages 2 à 9)
- Dossier technique (Fig Dt 1 à Dt 8 : pages 10 à 15)
- Dossier des documents 'réponses' (Fig Dr 1 à Dr 7 : pages 16 à 21 + document A3V Dr 8).

Les candidats rédigeront les réponses aux questions posées sur feuilles de copie ou, lorsque cela est indiqué dans le sujet, sur les documents 'réponses' prévus à cet effet.

Tous les documents 'réponses' sont à remettre en fin d'épreuve même s'ils n'ont pas été utilisés.

| | | | | |
|----------------------------------|------------------------|--|--|--|
| CODE EPREUVE : MOEDCS | | EXAMEN : BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR | SPECIALITE : MOTEURS A COMBUSTION INTERNE | |
| SESSION 2002 | SUJET | EPREUVE : ETUDE DES CONSTRUCTIONS | | |
| Durée : 6h00 | Coefficient : 4 | Code sujet : 12NB02 | Page : 1/22 | |

DOSSIER D'ÉTUDE

Ce dossier comporte 4 parties

Il est conseillé de consacrer à chacune de ces parties la durée suivante :

Lecture du dossier et des documents techniques 0 h 30

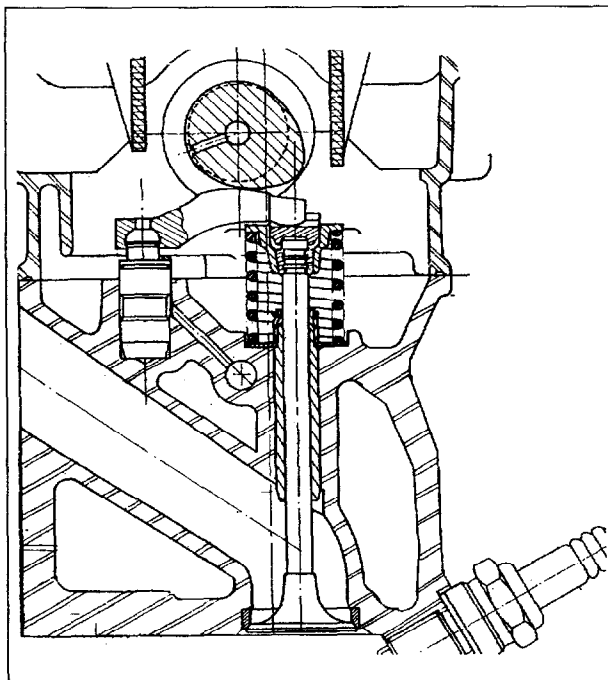
| | | |
|-------------------------|-------|--------|
| 1 ^{ère} partie | | 0 h 30 |
| 2 ^{ème} partie | | 1 h 00 |
| 3 ^{ème} partie | | 1 h 00 |
| 4 ^{ème} partie | | 3 h 00 |

Ces parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans n'importe quel ordre, cependant il est conseillé, afin de mieux comprendre le fonctionnement du moteur, d'en respecter l'ordre.

MISE EN SITUATION:

On se propose d'étudier une modification d'un système de distribution équipant un moteur à allumage commandé 4 temps, installé en série sur un véhicule léger de série dans le but de concevoir un montage expérimental qui sera utilisé dans une cellule d'essais d'un lycée technique. Cette distribution utilisera un rappel par ressort pneumatique, et doit permettre la mise en évidence :

- Que le régime maximum du moteur avant affolement des soupapes peut être augmenté notablement.
- Qu'à régime maximum identique, la puissance absorbée par le système de distribution est diminuée, et que par conséquent le rendement du moteur est amélioré.



Système de distribution d'origine

CALCUL D'UNE DISTRIBUTION

1 Vitesse et accélération d'une soupape

| | |
|------------------------------|---|
| Documents à utiliser: | Les documents techniques Dt1 et Dt3 Les documents réponse Dr1, Dr2 et Dr3 |
| Domaine étudié: | La came, le linguet, une soupape d'admission |
| Objectif: | Compléter les courbes caractéristiques de: Espace, vitesse, accélération de la soupape en fonction du temps. |

On donne

- Fig. Dt 3, la cinématique du système de distribution d'un moteur à allumage commandé, que l'on se propose d'étudier.
- Fig. Dt 1, un relevé du profil de came effectué sur le moteur, à l'aide d'un montage expérimental.
- Fig. Dr 2, une épure agrandie de la zone de contact came/linguet au point A, et linguet/soupape au point B.
- Le moteur a une fréquence de rotation de 5000 t.min^{-1} ($N_{\text{came}}=2500 \text{ t.min}^{-1}$).
- Dans la position du dessin (Dr 2), lorsque la came tourne d'un angle $\Delta\theta_c=5^\circ$ pendant un intervalle de temps Δt , la distance Oc-A augmente de 0,5 mm.

Hypothèse: On suppose que pendant la rotation de la came, le point de contact A reste toujours le même sur le linguet ; toutes les dimensions non indiquées, seront mesurées sur les documents réponses.

Notations : On notera $\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt}$ dérivée de θ par rapport à t

$$\ddot{\theta} = \frac{d^2\theta}{dt^2} \text{ dérivée seconde de } \theta \text{ par rapport à } t$$

1.1 On demande :

- 1.1.1 Indiquer sur la Fig. Dr 2 (détail éch. 10:1) la nouvelle position A1 du contact entre la came et le linguet.
- 1.1.2 Calculer l'intervalle de temps Δt correspondant à la rotation de l'arbre à came de 5° .
- 1.1.3 Calculer l'angle de la rotation $\Delta\theta_l$ effectué par le linguet pendant Δt , donner une relation entre $\Delta\theta_l$ et $\omega_l = \dot{\theta}_l$ (hypothèse: $\omega_l = \dot{\theta}_l = \text{cte}$ pendant dt). Exprimer le vecteur rotation $\overrightarrow{\Omega_{(L/0)}} = \omega_l \cdot \vec{z}_0$
- 1.1.4 Déterminer le vecteur vitesse $\overrightarrow{V_{(A,L/0)}}$, puis graphiquement le vecteur $\overrightarrow{V_{(B,L/0)}}$. En déduire le déplacement du point B (δB) pendant Δt dans la direction x_s .

- 1.1.5 Calculer le rapport $\varepsilon = \frac{\Delta B}{\Delta A}$ entre le déplacement du point B et le déplacement du point A (0,5 mm).
- 1.1.6 Si ce rapport est supposé constant, calculer, puis reporter sur la Fig. Dr 1 l'échelle de la levée de soupape, déterminée à partir de la fig. Dt 1 et de la valeur de ε calculée ci dessus.

1.2 Quels que soient les résultats trouvés ci dessus, on utilisera le diagramme des espaces de la Fig. Dr 3.

Les réponses ci dessous sont à fournir sur le document Fig. Dr 3. L'explication des constructions sera donnée sur copie.

- 1.2.1 Graduer l'échelle des temps.
- 1.2.2 Calculer par dérivation graphique les échelles des vitesses et des accélérations de la soupape.
- 1.2.3 Les reporter sur la figure.

2 Régime d'affolement de la soupape

| | |
|-----------------------|---|
| Documents à utiliser: | Les documents techniques Dt 3, Dt 5 et Dt 6 Le document réponse Dr 4. |
| Domaine étudié: | Le linguet, le ressort de rappel et la soupape |
| Objectif: | Déterminer le régime d'affolement des soupapes du système classique donné Fig Dt 3. |

2.1 Paramétrage

La distribution retenue est présentée sur le schéma cinématique Dt 3. C'est un mécanisme plan constitué de trois solides indéformables : la came (C), le linguet (L), la soupape (S) et d'un solide déformable le ressort R.

On suppose de plus que la fréquence de rotation du moteur est constante.

La came (C) est liée au bâti (0) par une liaison pivot parfaite d'axe (Oc)

Le linguet (L) est lié au bâti (0) par une liaison rotule parfaite de centre O_L ,

On note J_L le moment d'inertie de (L) par rapport à l'axe (O_L, z_0). On suppose compte tenu de la levée de came, de la géométrie du mécanisme et pour simplifier l'étude que l'angle θ_L est petit.

La soupape (S) est supposée en liaison pivot glissant parfaite par rapport au bâti.

La position de la soupape est repérée par la cote x_G , sa masse est notée m_s .

La liaison entre (C) et (L) est un contact ponctuel parfait en A.

La liaison entre (L) et (S) est un contact linéaire rectiligne parfait en B.

Le solide déformable (R) est un ressort qui agit entre (0) et (S).

On pose $x = x_G - Cte$: déformation du ressort R (alors : $\ddot{x}_G = \ddot{x}$). La masse du ressort (R) n'étant pas négligeable devant celles des autres pièces, on adopte la loi

de comportement suivante : $\vec{F}_{(R/S)} = -(F_0 + k.x + \frac{m_R}{3} \cdot \ddot{x}) \cdot \vec{x}_s$. On pourra poser

$\ddot{x} = \gamma$ (accélération d'un point quelconque de la soupape dans son mouvement par rapport au bâti).

On appellera :

- F_B Norme de l'action en B de L sur S $\vec{F}_B = -F_B \cdot \vec{y}_0$
- F_A Norme de l'action en A de C sur L $\vec{F}_A = -F_A \cdot \vec{y}_0$
- F_0 précharge du ressort ($F_0 > 0$)
- k raideur du ressort R
- m_R masse du ressort R
- $\ddot{x} = \gamma$ Accélération de la soupape par rapport au bâti.
- $\ddot{\theta} = \dot{\omega}$ accélération angulaire du linguet dans son mouvement autour de l'axe O_L, \vec{z}_0 .

2.2 On demande :

- 2.2.1 hypothèse : la soupape n'est pas en appui sur le bâti .
Isoler la soupape, lui appliquer les lois de la dynamique (théorème de la résultante dynamique), en déduire une relation entre $m_s, m_r, \ddot{x}, F_B, x, F_0, k$

- 2.2.2 Les documents Dt 5 et Dt 6 proviennent d'une copie d'écran effectuée à partir d'un logiciel de CAO, pendant la conception du linguet. A partir de ce document on demande :
 - ✓ Calculer la distance entre l'axe de rotation O_L, \vec{z}_l et le centre de gravité O_G du linguet (On remarquera que l'origine O_L se trouve sur le plan de symétrie longitudinal du linguet).
 - ✓ Par application du théorème de Huyghens, calculer le moment d'inertie J_L par rapport à l'axe de rotation O_L, \vec{z}_l . Exprimer ce moment d'inertie en kg.m².

- 2.2.3 Isoler le linguet, lui appliquer la loi du moment dynamique par rapport au point O_L en projection sur l'axe \vec{z}_0 (on supposera que $\theta_L=0$, et on négligera le poids du linguet). En déduire une relation entre $J_L, \ddot{\theta}, F_A, F_B$. J_L correspond à la valeur calculée ci dessus à partir de lzz (document Dt6).

- 2.2.4 Etude cinématique du linguet : déterminer une relation entre $\ddot{\theta}$ et \ddot{x} (on rappelle que $\theta_L=0$, attention au signe).

- 2.2.5 Déduire des 3 relations précédentes la valeur de F_B en fonction de $F_0, m_s, m_R, k, x, \ddot{x}$, puis la valeur de F_A en fonction de $J_L, \ddot{x}, F_B, L_2, L_1$

- 2.2.6 On montre que le contact s'annule en premier au niveau du point A. Le début d'affolement des soupapes correspond donc à $F_A=0$. Le document Dr 4 a été obtenu à partir des relations précédentes, et donne les valeurs de F_A en fonction de F_0 et de \ddot{x} . Donner la valeur de la précharge F_0 du ressort permettant d'obtenir une accélération maximum de la soupape de -12000 m.s^{-2} sans que F_A s'annule (début d'affolement). En déduire le régime moteur sans affolement en utilisant le document Dr 5
Déterminer alors la valeur du rappel à pleine levée $F_{(R/S)}=F_{plev}$ si on utilise un ressort hélicoïdal de raideur $k=27000 \text{ N.m}^{-1}$ avec une levée maximale $x_{plev}=8 \text{ mm}$.

3 Etude d'une distribution pneumatique

| | |
|------------------------------|--|
| Documents à utiliser: | Les documents techniques Dt 2, Dt 8 Les documents réponse Dr 4, Dr 5 et Dr 6. |
| Domaine étudié: | Le ressort pneumatique et le ressort hélicoïdal de démarrage |
| Objectif: | Etudier et dimensionner les éléments mentionnés ci dessus . |

3.1 Principe

On se propose de remplacer le système de distribution précédent du moteur de série par un système à ressort pneumatique expérimental qui sera fabriqué en pièces unitaires.

Le schéma de principe est donné Fig. Dt 2, le ressort se compose d'un ressort principal pneumatique et d'un petit ressort hélicoïdal intervenant pendant la phase de démarrage du moteur.

La pression est fournie par un ensemble compresseur, accumulateur, limiteur de pression (non représentés ici) fournissant de la pression en permanence afin de compenser les fuites.

La lubrification est assurée en permanence, l'huile excédentaire étant évacuée en fin de course basse du piston (c'est à dire lorsque la soupape est ouverte au maximum).

3.2 Calcul du ressort pneumatique (voir Dt 2)

Hypothèse: On suppose (ce qui n'est pas forcément vrai dans tous les cas), que le décollage au point A se produit pour l'accélération maximum, comme pour le ressort hélicoïdal.

3.2.1 La compression, étant rapide, peut être considérée comme adiabatique (on rappelle que dans ce cas $p \cdot V^\gamma = Cte$). L'action du petit ressort est négligée (voir 3.4).

La pression initiale (placage) est égale à p_1 . La pression finale (pleine levée de la soupape) est égale à p_2 . Calculer la pression p_1 en fonction de p_2 , V_1 , S (S =section balayée), λ , γ .

3.2.2 On appelle :

- $F_{plev} = F_{(RS)}$ si soupape à pleine ouverture (pleine levée).
- $F_{plac} = F_{(RS)}$ si soupape fermée (placage).

On donne $F_{plev} = 720$ N. Calculer la pression correspondante p_2 , puis la pression p_1 . En déduire la force de placage F_{plac} .

Valeurs numérique: $V_1 = 5 \text{ cm}^3$, $\lambda = 8 \text{ mm}$, $D_c = 24 \text{ mm}$, $d_c = 6 \text{ mm}$, $\gamma = 1,4$.

3.3 Comparaison avec un ressort classique:

Ce véhicule est à l'origine équipé d'un ressort hélicoïdal possédant les caractéristiques suivantes:

$D = 21 \text{ mm}$, $d = 3,5 \text{ mm}$, $n = 6$ spires. On rappelle que $f = \frac{8.F.D^3.n}{G.d^4}$, avec F : Force du ressort, f : flèche du ressort, n : nombre de spires, d : diamètre du fil, D : diamètre moyen du ressort, $G = 8.10^4 \text{ MPa}$

3.3.1 Calculer la raideur k de ce ressort. Comment appelle-t-on G ?

3.3.2 Calculer la déformation qu'il faut donner à ce ressort pour avoir la même force de rappel à pleine levée qu'avec le ressort pneumatique (720 N).

3.3.3 Calcul de la contrainte maximale supportée par ce ressort à pleine levée:

- ✓ A l'aide du document Fig. Dt 8, calculer le moment par rapport à g (Centre de gravité de la section S) du à l'action \vec{F}
- ✓ Déterminer la valeur du moment de torsion et du moment fléchissant dans la section isolée (Expression littérale, sans tenir compte des signes).
- ✓ Dans l'hypothèse où l'angle β est petit, et en négligeant les contraintes dues au cisaillement, en déduire la valeur de la contrainte de glissement maximale dans cette section. Cette valeur est-elle compatible avec un acier 45 Si Cr Mo 6 de résistance élastique $R_e=950$ Mpa utilisé avec un coefficient de sécurité de 1,2 ?

3.4 Comparaison des deux ressorts (classique et pneumatique):

La relation entre force et raideur dans un élément élastique (p) est la suivante :

$$k_p = \frac{dF_p}{dx} \text{ (dérivée de } F_p \text{ par rapport à } x\text{).}$$

On donne : $F_{plev}=720$ N

- 3.4.1 Déterminer graphiquement sur le document Dr6 la raideur $k_{p(8)}$ du ressort pneumatique pour $x=8$ mm puis tracer le graphe représentatif $F(x)$ du ressort hélicoïdal classique calculé au paragraphe 3.3.
- 3.4.2 En vous aidant de ce graphe, expliquer brièvement pourquoi le ressort pneumatique permet une montée de soupape de la position placage à la position pleine levée avec une consommation d'énergie moindre que dans le cas du ressort hélicoïdal

3.5 Influence du ressort de démarrage.

Pour permettre le démarrage du véhicule on installe un petit ressort hélicoïdal possédant les caractéristiques suivantes:

$D=16$ mm, $d=1$ mm, $n=7$ spires. Ce ressort a une raideur $k_{add}=0,35$ N/mm et une déformation initiale $\Delta_{L0}=5$ mm.

On demande :

Calculer en pourcentage, l'influence du petit ressort de démarrage sur la force de rappel à pleine levée.

4 Partie graphique et technologique : Modification de la distribution

| | |
|------------------------------|--|
| Documents à utiliser: | Les documents techniques Dt 2, Dt 4 et Dt 7 Les documents réponse Dr 7 et Dr 8 |
| Domaine étudié: | Le poussoir hydraulique, le linguet, le ressort pneumatique |
| Objectif: | Dessiner l'ensemble poussoir hydraulique, linguet, ressort pneumatique en vue de sa fabrication en pièce unitaire dans le but de réaliser un montage expérimental. |

4.1 Fonctions assurées par le ressort pneumatique

On se propose de réaliser un ressort pneumatique obéissant aux contraintes suivantes :

☞ Les dimensions du ressort pneumatique sont celles qui ont été déterminées dans la partie calcul, et qui sont ébauchées sur la feuille réponse Dr 8, à savoir :

- ✓ Diamètre du cylindre .. 24 mm
- ✓ Débattement 8 mm
- ✓ Ressort de démarrage (donné) $D=16$ mm, $d=1$ mm, $n=7$ spires

☞ Les étanchéités entre cylindre et tige de soupape d'une part et entre piston et cylindre d'autre part sont assurées par des joints choisis sur le document Dt 7. Pour des raisons dues à l'encombrement, on installera une pièce montée serrée sur le guide de la soupape, dont le rôle est de servir de support au joint d'étanchéité au niveau de la tige de soupape.

☞ La liaison entre piston et tige de soupape se fera par des coupelles classiques à concevoir.

☞ L'alimentation en air comprimé est permanente. Elle est assurée sur la partie droite du cylindre par un tuyau flexible vissé de diamètre M8. En phase de descente de la soupape un clapet anti-retour ne faisant pas partie de l'étude isole le cylindre de la source de pression.

☞ Le cylindre sera monté sur le bâti du moteur par un assemblage serré et collé.

☞ Le linguet sera guidé par le cylindre afin d'empêcher toute rotation autre que la rotation autour de Z_0 .

☞ En fin de course basse du piston, un système permet de refouler l'huile excédentaire (voir Fig Dr 8, Détail Ech 8:1). Pour ce faire la partie basse du piston comprime l'huile dans un volume (rainure circulaire) et ouvre un clapet anti-retour installé dans un lamage de ce cylindre. Ce clapet est taré de telle sorte qu'il ne puisse s'ouvrir que sous l'effet d'une compression d'huile en fin de course, et pas sous l'effet de la pression pneumatique. L'étanchéité se fait sans joint (on admet une fuite fonctionnelle).

4.2 Fonctions assurées par le poussoir hydraulique

On utilise un poussoir hydraulique qui a pour fonction de maintenir le contact sur la came en rattrapant automatiquement les jeux. Ce poussoir réalise les fonctions suivantes:

☞ **En phase appui:** La soupape descend vers la position pleine ouverture. Le piston du poussoir hydraulique est en appui hydraulique. La pression dans la

chambre A est déterminée par une perte de charge dans le canal de fuite. Le clapet permettant la communication entre les chambres A et B est fermé.

☞ **En phase d'accompagnement** : La soupape monte vers la position fermée. Le piston du poussoir hydraulique permet de garder le contact entre le poussoir et le linguet sous l'action du ressort de rappel. La pression dans la chambre A diminue rapidement puisque le volume de cette chambre augmente. Le clapet permettant la communication entre les chambres A et B s'ouvre, permettant de combler le déficit en fluide dans la chambre A. Il faut remarquer que ce remplissage de A s'effectue par l'orifice du clapet, le débit dans le canal de fuite étant alors quasiment nul.

4.3 Travail à effectuer :

4.3.1 Etude du ressort pneumatique.

Concevoir l'ensemble du système décrit ci-dessus, et le représenter sur le document réponse Dr 8 (A3 H).

Le candidat devra dessiner l'ensemble monté en coupe, le détail du clapet anti-retour de refoulement d'huile (piston en position basse détail Ech 8:1, et piston en position haute : coupe A-A Ech 3:1), la vue de dessus du cylindre seul, plus toute autre vue de son choix permettant de donner une définition complète du mécanisme.

Le linguet est donné sur le dessin en traits forts (soupape fermée, début d'ouverture), et en position basse comme pièce voisine (pleine ouverture de la soupape).

Le clapet anti-retour de refoulement d'huile excédentaire utilise 3 rondelles élastiques données fig Dr 8 et un clapet s'appuyant sur le fond du lamage. Les rondelles seront installées de telle sorte que pour une force d'appui donnée, la déformation totale soit le triple de la déformation d'une rondelle seule.

Les côtes fonctionnelles relatives au montage piston cylindre seulement seront données (ajustements, jeux, éventuellement états de surface, cotes de position si ces indications sont nécessaires à l'aptitude à l'emploi du système). On rappelle que ce mécanisme expérimental doit être réalisé en pièces unitaires et que l'on s'appuiera sur une unité de fabrication du type de ce qui existe dans un lycée technique. Cependant, si besoin est, on pourra faire appel à de la sous-traitance à l'extérieur. Le détail de la partie basse du piston et du clapet seront dessinés sur la vue *Détail Ech 8:1 piston en position basse*.

4.3.2 Etude technologique du poussoir hydraulique.

Indiquer sur le document Dr 7, les pressions et la position du clapet correspondant à chaque phase de fonctionnement du poussoir. On utilisera pour cela un code de couleur permettant de distinguer.

- ✓ La basse pression (pression d'alimentation du dispositif).
- ✓ La haute pression (pendant l'appui hydraulique).

Dessiner pour chaque phase, la position du clapet à bille, ainsi que le sens de déplacement du plongeur.