



SERVICES CULTURE ÉDITIONS
RESSOURCES POUR
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

Campagne 2009

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

MOTEURS À COMBUSTION INTERNE

SESSION 2009

E 4 - ÉTUDE DES CONSTRUCTIONS

Durée : 6 heures – Coefficient : 4

Aucun document autre que le sujet n'est autorisé.

Matériel autorisé :

Guide du dessinateur (ou documents équivalents)
Matériel du dessinateur (té, équerre, compas, ...)

Moyens de calculs autorisés :

Calculatrice électronique de poche, y compris calculatrice programmable et alphanumérique à fonctionnement autonome, non imprimante, conformément à la circulaire N° 86.228 du 26 Juillet 1986.

Contenu du dossier :

- Dossier d'étude : pages 1 à 12
- Dossier technique : DT1 à DT9 ⇒ pages 14 à 21
- Dossier document "réponse" : DR1 à DR4 ⇒ pages 23 à 26

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

Les documents "réponse" sont à remettre en fin d'épreuve.

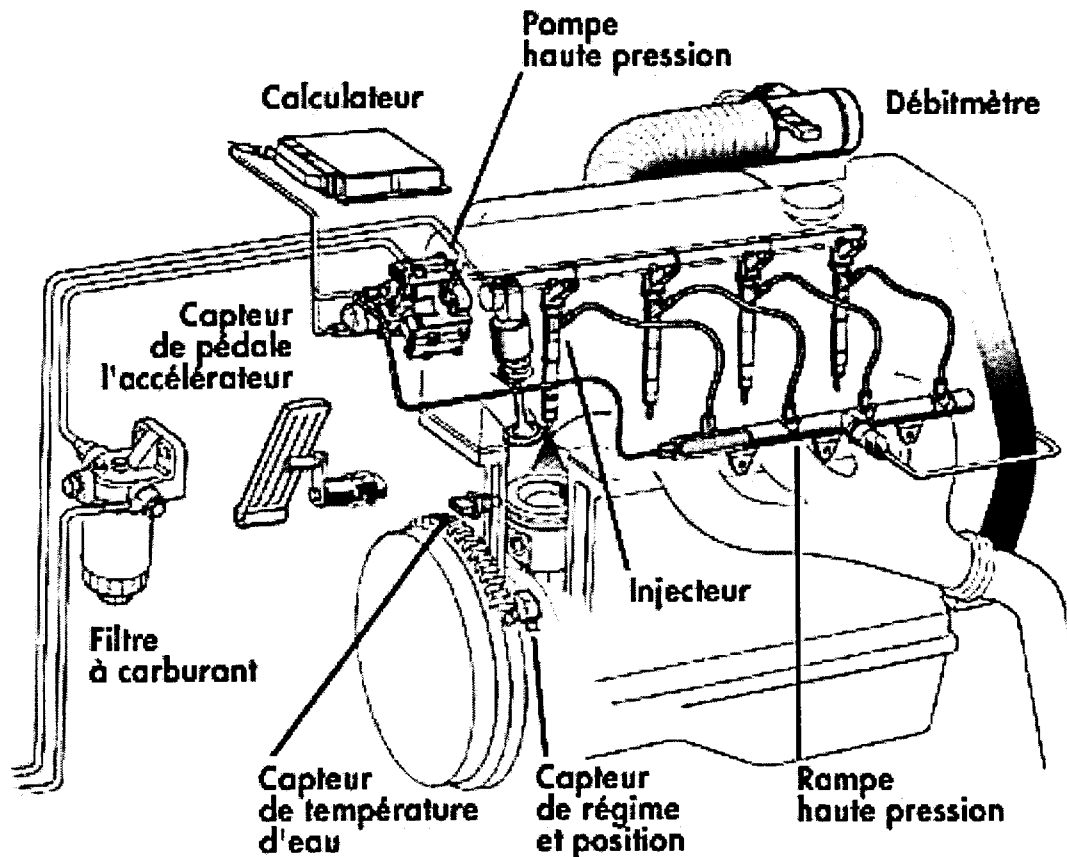
Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet.

Le sujet comporte 26 pages, numérotées de 1/26 à 26/26.

CODE ÉPREUVE : 0906MOEDC	EXAMEN BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : MOTEURS À COMBUSTION INTERNE
SESSION : 2009	SUJET	ÉPREUVE : E4 - ÉTUDE DES CONSTRUCTIONS	
Durée : 6h	Coefficient : 4	SUJET N°03EM08	Page 1/26

POMPE HAUTE PRESSION BOSCH

Mise en situation



→ *Principe de fonctionnement*

Une pompe haute pression entraînée par le moteur alimente une réserve de carburant sous pression (rampe ou rail).

Le rail est relié aux injecteurs par des tubes.

Les injecteurs sont commandés par une électrovanne intégrée.

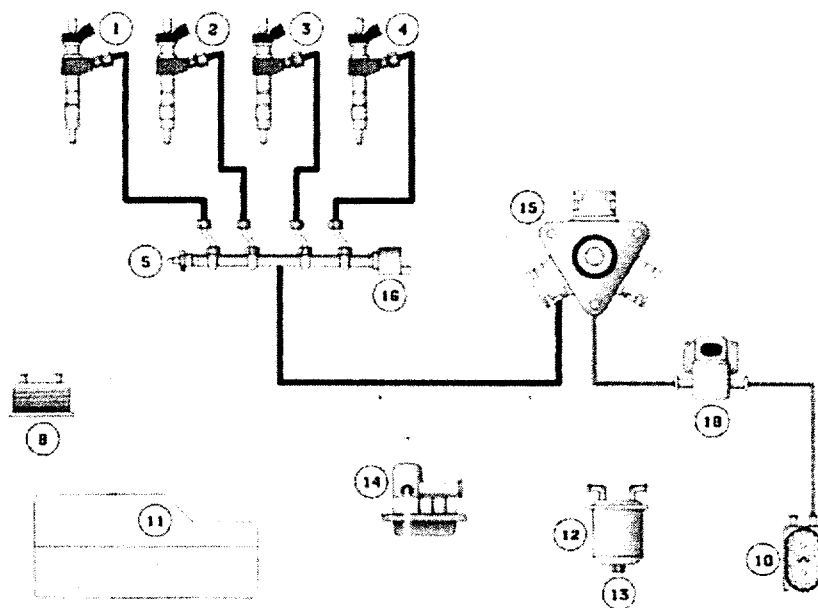
Le système est géré par un calculateur qui, en fonction des paramètres moteur, contrôle :

- le débit de la pompe
- la pression à l'intérieur de la pompe
- l'avance (phasage) et temps d'ouverture de chaque injecteur.

Le système permet plusieurs injections sur un cycle moteur et ceci pour chaque injecteur :

- une pré-injection
- une injection principale
- une post injection dans le cas de pollution plus sévère

→ Exemple de circuit d'alimentation :



alimentation par pompe mécanique

- 1 à 4 : injecteurs électrohydrauliques ;
- 5 : rampe commune haute pression ;
- 6 : sonde de température de carburant ;
- 7 : capteur de pression de carburant ;
- 8 : refroidisseur de carburant, placé sur le circuit de retour ;
- 9 : pré-filtre à carburant ;
- 10 : pompe de gavage basse pression ;
- 11 : réservoir de carburant ;
- 12 : filtre à carburant, décanteur d'eau et régulateur du circuit basse pression ;
- 13 : vis de purge d'eau ;
- 14 : réchauffeur de carburant ;
- 15 : pompe haute pression ;
- 16 : régulateur haute pression de carburant ;
- 17 : désactivateur de troisième piston de la pompe haute pression ;
- 18 : électrovanne de coupure.

→ Objectif des études qui vont suivre :

La pompe devant être installée sur un banc d'essai dans l'objectif de faire des mesures de débit au niveau des injecteurs, les études qui vont suivre auront pour but de déterminer :

- la puissance moyenne consommée au régime de fonctionnement maxi
- le couple maxi
- l'accouplement de la pompe
- l'adaptation de la pompe au banc

DOSSIER TRAVAIL DEMANDÉ

Ce dossier comporte 4 PARTIES.

Temps conseillé pour chacune des parties :

Lecture du sujet :	0h30
1 ^{ère} Partie : Détermination de la courbe de débit de la pompe	1h00
2 ^{ème} Partie : Détermination du couple d'entraînement de la pompe	1h30
3 ^{ème} Partie : Détermination du couple de serrage de l'écrou Contrainte dans le filetage	0h45
4 ^{ème} Partie : Étude du banc d'essais de la pompe	2h15

1^{ère} PARTIE :

DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES HYDRAULIQUES DE LA POMPE.

Matière d'œuvre : Documents DR1, DR2, DT1, DT2, DT3.

Domaine étudié : La pompe.

Objectifs :
- Détermination de l'expression du débit moyen de la pompe.
- Détermination de la puissance hydraulique de la pompe.

Données :
- Excentration arbre d'entrée : $OA=e=3\text{ mm}$
- Diamètre des pistons : $d=6,5\text{ mm}$
- 3 pistons disposés à 120°
- Pression maxi de fonctionnement: $p=1356\text{ bars}$
- Vitesse de rotation limite selon le fabricant : $N=3000\text{ tr/min}$

Tous les calculs développés se feront à ce régime de rotation et à pression maxi

- 1-1-** Déterminer, par dérivation graphique, pour la position $\theta=90^\circ$, la vitesse du piston 23-3. Expliquer votre démarche.
- 1-2-** En déduire l'échelle des vitesses et graduer (en mm/s) l'axe correspondant sur le document DR1.
- 1-3-** Sachant qu'il y a 3 pistons, à 120° , tracer à main levée sur le document DR1 l'allure des courbes de vitesse des pistons 23-2 et 23-1 respectivement en couleur bleu et rouge.
- Les pistons ne débitent que lorsqu'ils se déplacent du point mort bas vers le point mort haut.
On s'intéresse à la courbe de débit instantané du piston 23-3 (voir DR2).
Pour la suite de l'étude, on prendra $V_{\text{piston}}(\theta = 90^\circ) = 1\text{ m/s}$.*
- 1-4-** Déterminer pour la position $\theta=90^\circ$ la valeur du débit instantané (en cm^3/s). Graduer l'axe des ordonnées.
- 1-5-** En déduire la valeur du débit moyen (en cm^3/s).
- 1-6-** Validation des résultats :
- 1-6-1-** Déterminer la cylindrée totale de la pompe.
- 1-6-2-** En déduire le débit moyen de la pompe au régime maxi de 3000 tr/min. Comparez.
- 1-6-3-** Déterminer la puissance hydraulique correspondante.

2^{ème} PARTIE :

DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DE LA POMPE.

Matière d'œuvre : Documents DT1, DT2, DT3, DT6.

Domaine étudié : La pompe.

Objectifs :

- Détermination du couple d'entraînement (en fonction de l'angle de rotation) de l'arbre d'entrée.
- Détermination de la puissance d'entraînement de la pompe.

Hypothèses de travail :

- Toutes les liaisons sont parfaites.
- L'action des ressorts est négligée devant les autres actions.
- Les axes des 3 cylindres sont concourants en C.

Données :

- On notera B_1, B_2, B_3 les points centre de liaison entre les pistons 23-1, 23-2, 23-3 et la came 14.
- Le taux de rotation de l'arbre d'entrée 1 par rapport au corps 0 est constant : $\omega = \frac{d\theta}{dt} = cte$.
- Les pressions dans les cylindres seront notées respectivement p_1, p_2, p_3 pour les pistons 23-1, 23-2, 23-3.
- Ces pressions seront égales à 1356 bars (effort de 4500 N) lorsque les pistons seront en phase de compression ou nulles en phase de d'aspiration.
- L'action de la poulie d'entraînement non représentée sur l'arbre 1 est modélisée par :

$$\{T_{(poulie/1)}\}_O = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ C_m \cdot \vec{z}_0 \end{Bmatrix}$$

Phases de travail des pistons (■ =compression : $p=1356$ bars, □ = pression nulle) :

angle arbre 1 (degré)	0	60	120	180	240	300	360
piston 23-1 , p_1							
piston 23-2 , p_2							
piston 23-3 , p_3							

A- Étude dynamique de la came 14

Données :

On donne ci-dessous les torseurs d'action de liaison exercés par chacun des pistons sur la came 14 (tous ces torseurs sont exprimés dans le repère R_0) :

$$\rightarrow \{T_{(23-3/14)}\}_{B_3} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{F_{23-3/14}} = -p_3 \cdot S \cdot \overrightarrow{u_3} \\ \overrightarrow{M_{B_3 23-3/14}} \end{array} \right\}_{B_3} = \left\{ \begin{array}{ll} p_3 \cdot S & 0 \\ 0 & M_3 \\ 0 & N_3 \end{array} \right\}$$

$$\rightarrow \{T_{(23-2/14)}\}_{B_2} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{F_{23-2/14}} = -p_2 \cdot S \cdot \overrightarrow{u_2} \\ \overrightarrow{M_{B_2 23-2/14}} \end{array} \right\}_{B_2} = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{-p_2 \cdot S}{2} & L_2 \\ \frac{p_2 \cdot S \cdot \sqrt{3}}{2} & M_2 \\ 0 & N_2 \end{array} \right\}$$

$$\rightarrow \{T_{(23-1/14)}\}_{B_1} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{F_{23-1/14}} = -p_1 \cdot S \cdot \overrightarrow{u_1} \\ \overrightarrow{M_{B_1 23-1/14}} \end{array} \right\}_{B_1} = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{-p_1 \cdot S}{2} & L_1 \\ \frac{-p_1 \cdot S \cdot \sqrt{3}}{2} & M_1 \\ 0 & N_1 \end{array} \right\}$$

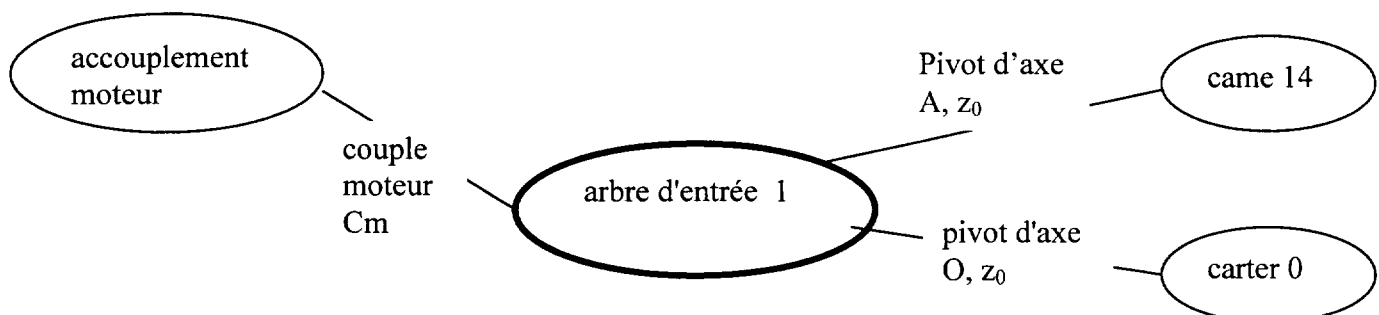
2-1- Ecrire dans le repère R_0 , le torseur transmissible de la liaison de l'arbre d'entrée 1 sur la came 14.

2-2- Démontrer que l'expression du vecteur accélération du point A : $\overrightarrow{\Gamma_{A,14/0}}$ a pour expression $\overrightarrow{\Gamma_{A,14/0}} = -e \cdot \omega^2 \cdot \overrightarrow{x_1}$ dans le repère R_1 .
Puis l'exprimer dans le repère R_0 .

2-3- En appliquant le théorème de la résultante dynamique, déterminer dans le repère R_0 les composantes de l'action mécanique de 1 sur 14 notée $\overrightarrow{A_{1/14}}$

B- Étude dynamique de l'arbre d'entrée 1

On donne le graphe des actions agissant sur l'arbre d'entrée 1:



Quel que soit le résultat de la question précédente, nous prendrons :

$$\vec{A}_{1/14} = \left(-p_3 \cdot S + \frac{p_2 S}{2} + \frac{p_1 S}{2} - m_{14} \cdot e \omega^2 \cdot \cos \theta\right) \vec{x}_0 + \left(\frac{p_1 \cdot S \sqrt{3}}{2} - \frac{p_2 \cdot S \sqrt{3}}{2} - m_{14} \cdot e \omega^2 \cdot \sin \theta\right) \vec{y}_0$$

On isole l'arbre d'entrée 1 .

2-4- En isolant l'arbre d'entrée 1 établir le bilan des actions mécaniques extérieures, écrire les éléments de réduction de ces torseurs au point O dans le repère R_0 .

2-5- Justifier que le moment dynamique de 1/0 en projection sur l'axe (O, z_0) est nul.

$$\delta_{O \ 1/0} \vec{z}_0 = 0$$

2-6- En appliquant le théorème du moment dynamique en projection sur l'axe (O, z_0) , montrer que l'expression du couple moteur C_m en fonction de $p_1, p_2, p_3, S, e, \theta$ a pour expression :

$$C_m = \left(p_3 \cdot S - \frac{p_2 S}{2} - \frac{p_1 S}{2}\right) \cdot e \cdot \sin \theta + \left(\frac{p_1 \cdot S \sqrt{3}}{2} - \frac{p_2 \cdot S \sqrt{3}}{2}\right) \cdot e \cdot \cos \theta$$

En vous aidant du tableau des phases de travail des pistons, calculer la valeur numérique de C_m pour $\theta=130^\circ$.

Comparez avec les courbes du document DT4.

2-7- À partir de la valeur du couple moyen de la pompe (DT4), déterminer la puissance mécanique moyenne nécessaire à l'entraînement de l'arbre 1. Comparez ce résultat à celui de la question 1-6-3 et conclure.

3^{ème} PARTIE :

DÉTERMINATION DU COUPLE DE SERRAGE DE L'ÉCROU ET VÉRIFICATION DE LA RÉSISTANCE DU FILETAGE.

Matière d'œuvre : Documents DT5, DT6.

Domaine étudié : Accouplement conique entre l'arbre d'entrée 1 et la poulie.

Objectifs :

- Déterminer l'effort axial au niveau de l'accouplement conique poulie/arbre d'entrée de pompe connaissant le couple maxi transmissible par la pompe.
- Déterminer le couple de serrage de l'écrou.
- Vérifier la résistance de la partie filetée de l'arbre.

Hypothèses de calcul :

- La portée conique est assimilée à une friction conique.
- La répartition de la pression entre la poulie et l'arbre 1 est uniforme.

Données : - Couple maxi transmissible par la pompe: $C_m = 16 \text{ N.m}$

- Les dimensions de la friction conique sont : $r_1 = 8 \text{ mm}$ $r_2 = 10 \text{ mm}$ $L = 20 \text{ mm}$

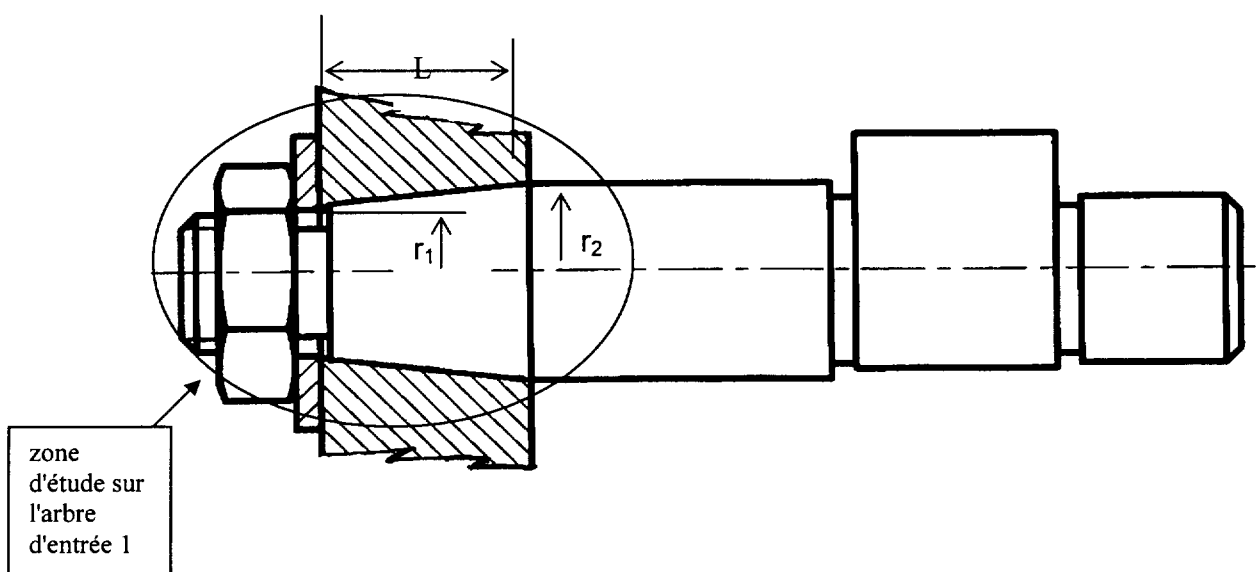
- Coefficient de frottement poulie/arbre 1 : $f_1 = 0,1$

- Coefficient de frottement vis/écrou et rondelle/écrou : $f_2 = 0,16$

- Le serrage est assuré par un écrou à frein incorporé (HFR) M14 NF EN-ISO7719 à pas fins

- Coefficient de concentration de contrainte à fond de filet: $K_t = 3,2$

- Section résistante de la partie filetée (cf. DT6)



3-1- Déterminer l'effort axial (entre la poulie et l'arbre 1) nécessaire à la transmission du couple C_m maxi.

Pour la suite de l'étude, on prendra $F=1800$ N.

Le couple de serrage de l'écrou à frein incorporé (HFR) M14 NF EN-ISO7719 est tel que :

$$C_s = C_1 + C_2 \quad \text{avec : } C_1 : \text{ couple de frottement des filets (voir document DT6)}$$

$C_2 : \text{ couple de serrage de l'écrou sur la rondelle}$
(appui assimilable à une friction plane)

3-2- Déterminer les couples C_1 , C_2 ainsi que le couple de serrage C_s .

3-3- Déterminer la contrainte maximale de traction dans la partie filetée en tenant compte des concentrations de contraintes engendrées par le filetage.

3-4- La limite élastique du matériau constituant l'arbre de pompe est de : $R_e=640$ MPa.
Déterminer le coefficient de sécurité.
Conclure.

4^{ème} PARTIE :

IMPLANTATION DE LA POMPE SUR UN BANC D'ESSAIS.

Matière d'œuvre : Documents DT4, DT7, DT8, DT9.

Domaine étudié : Le banc d'essais de la pompe.

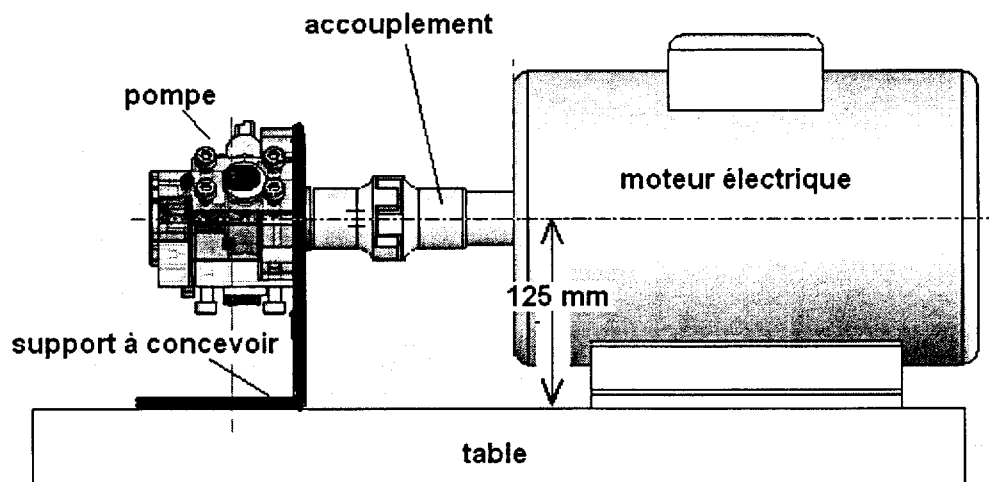
Objectifs :

- Choisir un accouplement,
- Trouver les ajustements pour l'assemblage "accouplement arbre - moteur".
- Concevoir un support de pompe.

Pour vérifier certaines performances, la pompe doit être montée sur un banc d'essais. Le principe de banc d'essais est le suivant : un moteur électrique à vitesse variable entraîne la pompe par l'intermédiaire d'un accouplement élastique. Un circuit hydraulique qui n'est pas l'objet de l'étude, permet l'alimentation de la pompe en gazole et comporte notamment un système de mesure de débit.

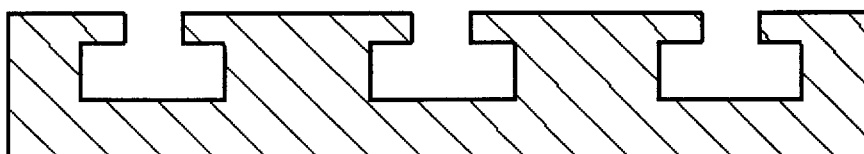
Pour certains essais, l'accouplement peut être remplacé par un couplemètre.

La partie mécanique du banc est constituée d'une table rainurée sur laquelle sont fixés le moteur électrique et le support de la pompe à concevoir.



Le maintien en position sur la table est assuré par des écrous en forme de T (voir DT 8)

Coupe transversale de la table



4.1- Choix de l'accouplement.

À partir des résultats donnés par le document DT4 et d'un extrait de catalogue (DT7), choisir un accouplement. Justifier brièvement votre choix sur la feuille de copie.

4.2- Montage de l'accouplement sur l'arbre.

Cahier des charges :

- La liaison complète de l'accouplement par rapport à l'arbre est démontable.
- L'arbre du moteur (diamètre 25 mm) est destiné à recevoir une clavette 8 X 7 x 30 et possède à son extrémité un trou taraudé M12 x 30

Travail demandé :

Sur DR 3, compléter le diagramme FAST de la liaison complète.

Sur le document DR3, effectuer un dessin à main levée de la liaison complète arbre/accouplement. Coter les ajustements à prévoir ainsi que les jeux fonctionnels éventuels.

4.3- Conception du support de la pompe.

Cahier des charges :

- La liaison complète du support par rapport à la table est démontable.
- La fabrication est unitaire.
- Le support de la pompe est réalisé en mécano-soudure à partir d'un assemblage de tôles prédécoupées d'épaisseur 6 mm et d'une semelle d'épaisseur 8 mm.
- La mise en position du support sur la table et celle de la pompe sur le support sera précise (alignement 1° , désaxage 0,3mm).

Travail demandé :

Sur document réponse DR4, compléter la vue de face et la vue de gauche coupe B-B, échelle 1:2 et indiquer deux conditions fonctionnelles (ajustement, perpendicularité) sans en donner la valeur. Vous ajouterez éventuellement toutes les vues partielles nécessaires.

NB : en traits fins sont tracés les éléments de fixation de la pompe sur le support.