

Epreuve de Sciences Industrielles B

Durée 6 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

L'usage de calculatrices est interdit.

Composition du sujet :

- 1 cahier de 17 pages de texte, numérotées de T 1/17 à T 17/17.
- 11 documents annexes, numérotés D 1/11 à D11/11.
- 2 feuilles format A3 pliées, imprimées recto verso, respectivement intitulées « **Notice justificative 1/8 à 4/8** » et « **Notice justificative 5/8 à 8/8** » et à rendre en fin d'épreuve ;
- 1 feuille de calque format A3, pré imprimée, intitulée « **Calque n°1** » à rendre en fin d'épreuve.

Remarque : A la fin du cahier de 17 pages (page T17/17), se trouve un tableau récapitulatif des données et des notations principales utilisées dans l'épreuve.

TOUTE AUTRE DOCUMENTATION EST INTERDITE

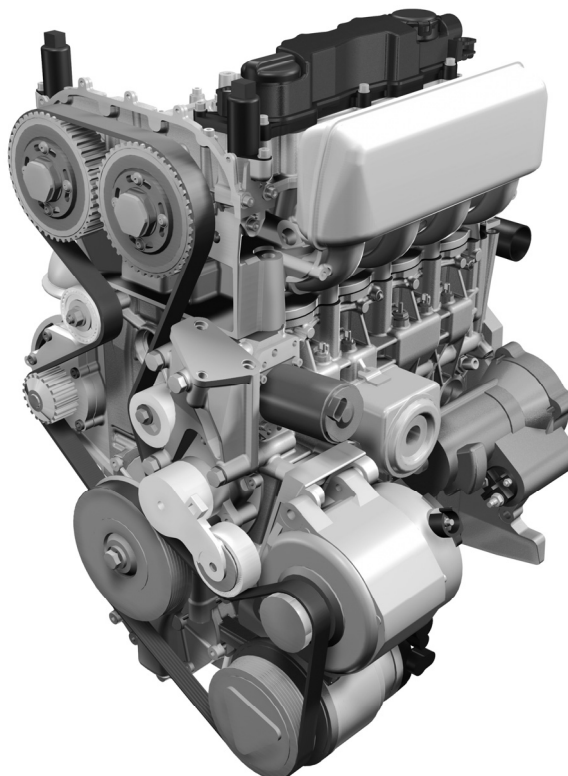
Matériel autorisé : tous instruments usuels du dessinateur.

TOUTES LES CALCULATRICES SONT INTERDITES, QUEL QU'EN SOIT LE TYPE, AINSI QUE LES AGENDAS ELECTRONIQUES ET LES TELEPHONES PORTABLES

«LA PRESENTATION, LA LISIBILITE, L'ORTHOGRAPHE, LA QUALITE DE LA REDACTION, LA CLARTE ET LA PRECISION DES RAISONNEMENTS ENTRERONT POUR UNE PART IMPORTANTE DANS L'APPRECIATION DES COPIES. »

Gestion du temps : En admettant une durée d'une heure pour la lecture et l'assimilation du sujet, il est vivement conseillé de consacrer entre 2 h 00 et 2 h 30 au maximum à la réponse aux questions de la notice et 2 h 30 à 3 h au tracé des dessins.

Figure 1 - Moteur à taux de compression variable MCE-5



ETUDE D'UN MOTEUR THERMIQUE A TAUX DE COMPRESSION VARIABLE MCE-5

A - Présentation du produit étudié

A.1 – Le produit et son marché

La diminution des ressources pétrolières mondiales, l'augmentation des coûts des carburants dérivés et les évolutions vers des normes antipollution de plus en plus sévères, sont des facteurs qui engagent les constructeurs automobiles vers des développements de nouveaux moteurs. Une des pistes de recherche les plus empruntées, est le développement de moteurs à « taux de compression variable ».

Le produit étudié (voir figure 1 page T1/17) est un moteur de ce type développé par la société MCE-5, il est en phase d'industrialisation. La commercialisation des véhicules en grande série est prévue pour 2012.

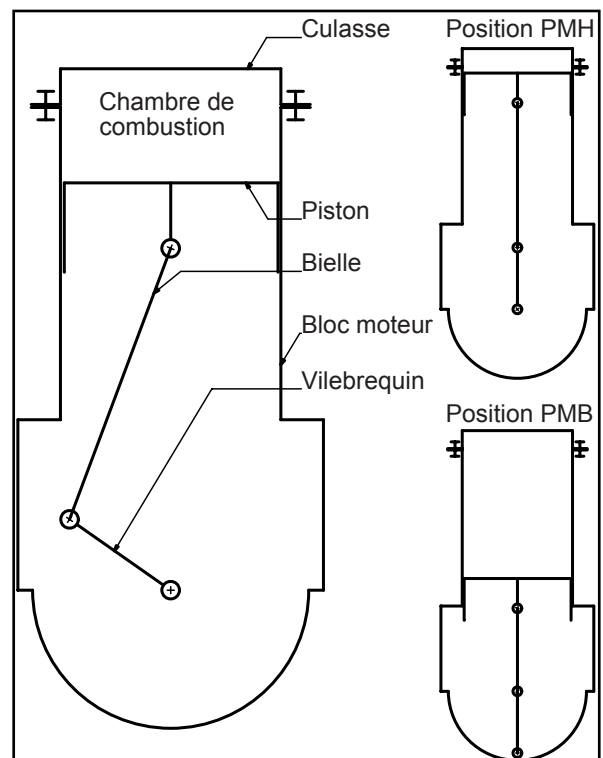
A.2 – Principes de base de la cinématique des moteurs à combustion interne

Les moteurs à combustion interne utilisent en grande majorité des systèmes bielle-manivelle dont le principe est décrit sur la **figure 2** page T2/17 ci-dessous.

On peut définir

- les positions extrêmes du piston par PMH (Point Mort Haut) et PMB (Point Mort Bas) ;
- la cylindrée unitaire Cyl_{unit} qui est le volume balayé par le piston pendant son déplacement du PMB vers le PMH ;
- Le rapport volumétrique T_v , appelé commercialement «Taux de compression», qui est le rapport du volume occupé par les gaz quand le piston est au PMB, sur le volume occupé par les gaz quand le piston est au PMH ;

Figure 2 - Définition des principaux sous-ensembles d'un moteur à combustion interne à 4 temps.



A.3 - Principe de la variabilité du taux de compression

Le taux de compression est un des paramètres les plus influents d'un moteur thermique. Sa valeur influe directement sur des grandeurs telles que rendement, consommation, puissance, et polluants émis.

La possibilité de faire varier le taux de compression permet d'optimiser ces différentes grandeurs. Or, par construction cinématique, le taux de compression d'un moteur « classique » est fixe.

Plusieurs architectures cinématiques basées sur le système bielle-manivelle ont été brevetées. Elles permettent toutes de faire varier le taux de compression du moteur en pilotant un dispositif de réglage mécanique. La solution MCE-5 est une de ces architectures.

A.4 – Principales caractéristiques du moteur MCE-5

Les principales caractéristiques du moteur MCE-5 sont données dans le tableau ci-dessous

Carburant	essence
Nombre de cylindres	4
Disposition	en ligne
Alésage x Course	75 x à déterminer
Cylindrée	à déterminer
Puissance maxi	160 kW
Couple maxi	300 Nm
Taux de compression	de 7 / 1 à 18 / 1
Suralimentation	sans
Consommation moyenne (cycle mixte européen)	6,2 l pour 100 km

B - Etude et éléments de solutions proposés

B.1 – Architecture générale (voir D1/11 figures 3 et 4 et D2/11 figure 5)

L'architecture cinématique du moteur MCE-5 est principalement composée d'un piston en liaison complète avec sa crémaillère, d'un vilebrequin et de sa bielle, d'une roue dentée, d'une crémaillère de commande verrouillable, d'un rouleau synchroniseur, et d'un dispositif de réglage de jeu radial (non représenté).

Le mécanisme est représenté sur la **figure 3** page D1/11 et page D2/11 en position PMH (point mort haut).

B.2 – Principe de fonctionnement (voir figures 3 et 4 page D1/11 et figure 5 page D2/11)

La roue dentée **4** engrène avec la crémaillère de piston **5**, et avec la crémaillère de commande **3** qui en fonctionnement stabilisé est fixe par rapport au bloc moteur **10**, mais dont la position verticale influe sur le taux de compression.

Dans la phase motrice, la détente des gaz provoque le déplacement du piston **7** du PMH vers le PMB. Le piston **7** est en liaison complète avec la crémaillère de piston **5**. La crémaillère de piston **5** prend appui sur le bloc moteur **10** grâce au rouleau synchroniseur **6** et entraîne en rotation la roue dentée **4**. Cette roue dentée prend appui sur la crémaillère de commande **3**. Le déplacement de son centre entraîne le déplacement de la bielle **2** avec laquelle elle est en liaison pivot, et met ainsi en rotation le vilebrequin **1**.

Le mécanisme étant réversible, la rotation du vilebrequin provoque la translation alternative du piston.

En fonctionnement, la variation du taux de compression du moteur est obtenue grâce au déplacement vertical de la crémaillère de commande **3**. Ce déplacement est obtenu par déverrouillage et asservissement en position du verrou hydraulique.

Un dispositif de réglage de jeu axial (non représenté) permet de précontraindre radialement la crémaillère de commande, la roue dentée, la crémaillère de piston, et le rouleau synchroniseur.

Le guidage particulier de l'ensemble {piston, crémaillère} augmente sensiblement le rendement mécanique du moteur par rapport à un système classique actuel.

C - Etude de conception en construction mécanique

C.1 – Présentation du travail à rendre

Comme indiqué plus haut en page T1/17, en admettant une durée d'une heure pour la lecture et l'assimilation du sujet, il est vivement conseillé de consacrer entre 2 h 00 et 2 h 30 au maximum à la réponse aux questions de la notice et 2 h 30 à 3 h au tracé des dessins.

Les réponses seront fournies uniquement sur les 3 documents présentés ci-dessous.

1 – Notice justificative (40 % de la note globale)

Fournir les réponses sur les **deux** documents respectivement intitulés « Notice justificative 1/8 à 4/8 » et « Notice justificative 5/8 à 8/8 », de format A3 horizontal, pliés, pré imprimés recto verso, qui sont joints au sujet.

Les réponses sur feuilles de copies additionnelles ou sur papier de brouillon ne seront pas acceptées.

2 – Dessins d'étude de construction mécanique (60 % de la note globale)

Ils sont à tracer sur un calque pré imprimé de format A3 horizontal, intitulé « Calque N°1 » joint au sujet, et sera à rendre **non plié**.

C.2 – Notice justificative

Consignes spécifiques

Sur les notices justificatives, les réponses seront fournies dans les limites des cadres prévus pour chaque question.

Compte tenu de l'interdiction d'utiliser toute calculatrice, les calculs seront réalisés de manière approchée.

Il sera tenu compte, dans la notation, de la clarté et de la concision des réponses. Les schémas doivent être lisibles, précis, et doivent respecter la normalisation en vigueur.

Les écritures au crayon ne seront pas acceptées. La qualité de l'écriture, de l'orthographe et de la syntaxe sera prise en compte dans l'évaluation.

C.2.1. Cinématique

Données (se reporter à la **figure 6** page D3/11) :

Sur la **figure 6** sont représentées, à l'échelle 0.7/1, les différentes pièces du mécanisme dans une position quelconque.

Longueurs : AB = 21 mm ; BC = 88,75 mm ;

Rayon primitif de la roue **4** : CD = DE = 50 mm ;

Diamètre des pistons **7** : $D_{p7} = 75 \text{ mm}$ (pour les applications numériques, on prendra $\frac{\pi \cdot 75^2}{4} \approx 4500$)

Hypothèses :

Les liaisons sont considérées comme parfaites.

La liaison entre la roue **4** et la crémaillère de commande **3** ainsi que la liaison entre la roue **4** et la crémaillère de piston **5**, sont des liaisons de roulement sans glissement obtenues par engrenement.

C.2.1.1. - Détermination de la cylindrée du moteur

Il s'agit de représenter le système en position « Point Mort **Bas** » avec le réglage « taux de compression maximum ».

Pour cette position les points seront notés avec une apostrophe (exemple : B').

La crémaillère de commande **3** est considérée fixe.

Sur le document réponse **cadre R1 de la notice justificative 1/8**, les différentes pièces du mécanisme sont représentées, à l'échelle 0.7/1, dans la position « Point Mort **Haut** » avec le réglage « taux de compression maximum ».

Q1 Inscrire votre réponse dans le cadre R1 de la notice justificative 1/8.

Tracer la position du point B' ;

En déduire et tracer le point C' ;

Exprimer la distance CC' en fonction de la longueur AB ;

Déterminer et tracer la position du point de contact D' entre la roue 4 et la crémaillère de commande 3 ;

Tracer le point E', point de contact entre la roue 4 et la crémaillère de piston 5 ;

Tracer le point D_r', correspondant à la position du point de contact D' sur la roue 4 ;

En déduire et tracer le point E_r', correspondant à la position du point E' sur la roue 4 ;

En déduire et tracer le point E_p', correspondant à la position du point E' sur la crémaillère de piston 5 ;

Exprimer la distance E'E_p' en fonction de la longueur AB ;

Tracer le point F' et mettre en place une cote chiffrée représentant la course du piston 7 ;

Calculer la cylindrée unitaire (en cm³) Cyl_{unit}, et en déduire la cylindrée Cyl_{mot} du moteur (en cm³) ;

Dessiner en bleu, la crémaillère de piston 5, le piston 7 et la roue 4 (sans les graduations), dans la position « point mort bas »

C.2.1.2. - Détermination du taux de compression minimum du moteur

Il s'agit de représenter le système en position « point mort haut » avec le levier de commande en position « taux de compression minimum ».

Notation :

On appellera « taux de compression » **T**, le rapport du volume occupé par les gaz quand le piston est au « point mort bas, sur le volume occupé par les gaz quand le piston est au « point mort haut » ;

Dans la position « point mort haut », on note **x** la distance entre le piston 7 et la culasse 8 (voir figure ci-contre) ;

Pour cette position les points seront notés avec deux apostrophes (ex : H'').

Hypothèses :

Le haut du piston 7 est supposé plan ;

Le volume de gaz comprimé entre le piston 7 et la culasse 8 est supposé cylindrique ;

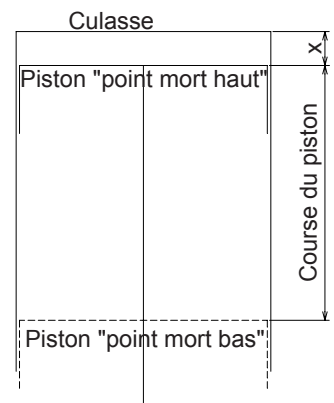
La course du piston 7 reste constante, quelle que soit la position de la crémaillère de commande 3 ;

Le vilebrequin 1 est considéré fixe, la crémaillère de commande 3 est mobile.

Données :

Le « taux de compression maximum » T_{max} est de 18 ;

La crémaillère de commande 3 se déplace de 9 mm pour atteindre la position « taux de compression minimum ».



Q2 Inscrire votre réponse dans le **cadre R2 de la notice justificative 2/8**

Exprimer la valeur de la cote x en fonction de la course du piston C_p et du « taux de compression » T .

Q3 Inscrire votre réponse dans le **cadre R3 de la notice justificative 2/8**

Calculer la distance x_{min} (donner 3 chiffres significatifs) pour le « taux de compression maximum » T_{max} .

Pour la suite du problème, on prendra $x_{min} = 5 \text{ mm}$.

Sur le document réponse **cadre R4 de la notice justificative 2/8**, les différentes pièces du mécanisme sont représentées, à l'échelle **0.7/1**, dans la position « Point Mort Haut » avec le réglage « taux de compression maximum ».

Q4 Inscrire votre réponse dans le **cadre R4 de la notice justificative 2/8**.

Tracer le point H'' dans la position « taux de compression minimum » ;

Tracer le point F'' dans la position « taux de compression minimum » ;

Mettre en place sur la figure la cote chiffrée entre F'' et F ;

Calculer le « taux de compression minimum » T_{min} ;

Dessiner en rouge, la crémaillère de commande 3, la roue 4 (sans les graduations) et le piston 5, dans la position « taux de compression minimum ».

C.2.2. Statique

L'étude proposée est une étude comparative entre les efforts appliqués sur le piston d'un système bielle manivelle classique, et les efforts appliqués sur le piston d'un moteur MCE-5.

Hypothèses (se reporter aux **figures 7 et 8 page D4/11**) :

Les études sont faites dans le plan de symétrie (A, \vec{x}, \vec{y}) ;

Les résultantes des actions de contact sont contenues dans le plan (A, \vec{x}, \vec{y}) ;

L'action de la pesanteur est négligée ;

Les études sont réalisées dans la phase où le piston se déplace du PMH vers le PMB ;

Les masses et inerties des différentes pièces ne sont pas prises en compte (étude en statique) ;

L'effort résultant de l'action du gaz de combustion sur le piston $\overrightarrow{F_{gaz/7}}$ est tel que :

$$\overrightarrow{F_{gaz/7}} = -\left\| \overrightarrow{F_{gaz/7}} \right\| \cdot \vec{y} ;$$

Le couple extérieur résistant sur le vilebrequin 1 $\overrightarrow{C_{Ext/1}}$ est tel que : $\overrightarrow{C_{Ext/1}} = -\left\| \overrightarrow{C_{Ext/1}} \right\| \cdot \vec{z} ;$

Une liaison parfaite est une liaison sans jeu et sans frottement.

Notations :

La résultante des actions mécaniques au point M du solide i sur le solide j sera notée : $\overrightarrow{M_{i/j}} = M_{x_{i/j}} \cdot \vec{x} + M_{y_{i/j}} \cdot \vec{y}$ ($M_{x_{i/j}}$ et $M_{y_{i/j}}$ sont positifs ; ils seront précédés d'un signe + ou - en fonction de l'orientation de $\overrightarrow{M_{i/j}}$) ;

Pour différencier les notations, des deux systèmes, nous rajouterons, pour le système bielle-manivelle classique, une « étoile » (*) en exposant, aux points, aux vecteurs et à leurs composantes.

C.2.2.1. - Etude de l'équilibre d'un piston d'un système bielle manivelle classique (se reporter à la figure 7 page D4/11)

Notations :

La position angulaire du vilebrequin **1*** par rapport à l'axe \vec{y} est notée : θ^* .

La position angulaire de la bielle **2*** par rapport à l'axe \vec{y} est notée : β^* .

Les pièces non mobiles liées au bloc moteur sont repérées **0***.

Modélisations des liaisons :

Liaison vilebrequin **1***/bielle **2*** : liaison pivot parfaite d'axe \vec{z} passant par B* ;

Liaison piston **7***/bielle **2*** : liaison pivot glissant parfaite d'axe \vec{z} passant par C* ;

Liaison piston **7***/ carter moteur **0*** : liaison pivot glissant sans jeu avec frottement passant par C*. Le facteur de frottement est noté : $f^* = \tan \varphi^*$. Le point de contact est noté N* (non représenté sur la figure 7).

Q5 Inscrire votre réponse dans le **cadre R5 de la notice justificative 3/8.**

Après avoir isolé la bielle **2*** et fait le bilan des actions mécaniques, **tracer, sur la figure, la direction de $\overrightarrow{C_{7^*/2^*}^*}$;**

Ecrire $C_{x_{7^*/2^*}}^*$ en fonction de $C_{y_{7^*/2^*}}^*$ et β^* ;

Après avoir isolé le piston **7***, **lister les actions mécaniques appliquées sur 7***.

Sur la figure du cadre R5 sont représentées 4 propositions de modélisation de l'effort $\overrightarrow{N_{0^*/7^*}^*}$.
Pour chaque représentation, l'angle entre $\overrightarrow{N_{0^*/7^*}^*}$ et la normale \vec{n} est égal à φ^* .

Q6 Inscrire votre réponse dans le **cadre R6 de la notice justificative 3/8.**

Parmi les 4 propositions, quelle est celle qui correspond à l'équilibre du piston 7* dans la phase étudiée ? justifier brièvement la réponse ;

Ecrire $N_{x_{0^*/7^*}}^*$ en fonction de $N_{y_{0^*/7^*}}^*$ et f^* .

Q7 Inscrire votre réponse dans le **cadre R7 de la notice justificative 3/8**.

Compléter le dynamique (la somme vectorielle) des forces extérieures appliquées au piston 7* ;

Tracer les angles β^* et φ^* sur cette même figure ;

Q8 Inscrire votre réponse dans le **cadre R8 de la notice justificative 3/8**.

Exprimer les composantes $N^*_{X0^*/7^*}$ et $N^*_{Y0^*/7^*}$ en fonction de $\left\| \overrightarrow{F^*_{gaz/7^*}} \right\|$, β^* et φ^* .

C.2.2.2. - Etude de l'équilibre d'un piston d'un moteur MCE-5 (se reporter à la figure 8 page D4/11)

Hypothèses :

Le système est étudié dans la position « commande de taux variable » en position moyenne. De ce fait, les points L, K, E, C et D sont alignés. L'étude dans une autre position de réglage du taux de compression, provoquerait un décalage vertical du rouleau synchroniseur 6, ce qui ne modifie pas les conclusions que l'on pourra tirer de cette étude.

Notations :

La position angulaire du vilebrequin 1 par rapport à l'axe \vec{y} est notée : θ .

La position angulaire de la bielle 2 par rapport à l'axe \vec{y} est notée : β .

La position angulaire de la roue 4 par rapport à l'axe \vec{y} est notée : δ .

Modélisation des liaisons :

Liaison roue 4 crémaillère de piston 5 : liaison roulement sans glissement parfaite en E, avec α angle de pression de l'engrenage ;

Liaison crémaillère de piston 5 / rouleau synchroniseur 6 : liaison roulement sans glissement parfaite en K ;

Liaison rouleau synchroniseur 6 /carter moteur 0 : liaison roulement sans glissement parfaite en L ;

Liaison piston 7 /cylindre 0 : liaison sphère - cylindre (linéaire annulaire) sans jeu avec frottement. Le facteur de frottement est noté : $f = \tan\varphi$. Le point de contact est noté N.

Q9 Inscrire votre réponse dans le **cadre R9 de la notice justificative 4/8**.

Après avoir isolé le rouleau synchroniseur 6 et fait le bilan des actions mécaniques, **déduire la direction de $\overrightarrow{K_{5/6}}$;**

Sur la figure du cadre R10 sont représentées 8 propositions de modélisation de l'effort $\overrightarrow{E_{4/5}}$.

Q10 Inscrire votre réponse dans le **cadre R10 de la notice justificative 4/8**.

Parmi les 8 propositions, quelle est celle qui correspond à la modélisation de $\overrightarrow{E_{4/5}}$ dans la phase étudiée ? justifier brièvement la réponse ;

Après avoir isolé le piston 7, lister les actions mécaniques appliquées sur 7.

Q11 Incrire votre réponse dans le cadre R11 de la notice justificative 4/8.

Représenter de façon qualitative (direction, sens et point d'application), les résultantes des actions mécaniques appliquées sur le piston 7.

Q12 Incrire votre réponse dans le cadre R12 de la notice justificative 4/8.

Après avoir écrit et analysé l'équation de moments en E découlant du principe fondamental de la statique appliqué au piston 7, **que peut-on dire de l'action mécanique $\vec{N}_{0/7}$?**

C.2.2.3. - Etude comparative des formes de différents pistons (se reporter aux figures 9 et 10 page D4/11)

Les figures 9 et 10 montrent les formes extérieures de deux pistons : l'un étant celui d'un moteur avec un système-bielle manivelle classique, l'autre celui d'un piston d'un moteur MCE-5.

Q13 Incrire votre réponse dans le cadre R13 de la notice justificative 4/8.

Comparer et justifier les différences de formes des pistons au niveau du contact piston 7 /cylindre 0.

C.2.3. Analyse fonctionnelle des surfaces du rouleau synchroniseur 6 (se reporter aux figures 11 et 12 page D5/11)

Sur la figure 11, certaines surfaces du rouleau synchroniseur 6 sont repérées par des lettres minuscules.

Q14 Incrire votre réponse dans le cadre R14 de la notice justificative 4/8.

Compléter le tableau, en précisant la ou les fonctions de chacune des surfaces ou ensemble de surfaces repérés.

Le constructeur a choisi de réaliser un traitement thermique superficiel sur le rouleau synchroniseur 6.

Q15 Incrire votre réponse dans le cadre R15 de la notice justificative 5/8.

Quelles sont les surfaces qui ont justifié un tel choix ?

Quelle caractéristique mécanique le constructeur a-t-il ainsi augmenté ?

Q16 Incrire votre réponse dans le cadre R16 de la notice justificative 5/8.

Proposer un couple matériau / traitement thermique adapté (donner la désignation normalisée du matériau).

C.2.4. Choix de procédés d'obtention de bruts (se reporter aux figures 13 et 14 pages D5/11 et D6/11)

La **figure 13** est une photographie de quelques pièces prototypes du moteur. Ces pièces prototypes ont toutes été réalisées uniquement par enlèvement de matière (usinage et rectification) à partir de bruts prismatiques ou cylindriques.

Sur la **figure 14** sont représentées certaines pièces du moteur en perspective.

Ce moteur est destiné à être fabriqué en grande série. Afin de diminuer les coûts de production, le constructeur est amené à faire des choix de procédés d'obtention de bruts les plus économiques. Ces procédés d'obtention de bruts sont évidemment couplés à des familles de matériaux.

Q17 *Inscrire votre réponse dans le cadre R17 de la notice justificative 5/8.*

Citer trois critères importants qui conduisent à un choix de couple {famille de matériaux, procédé de fabrication} ?

Q18 *Inscrire votre réponse dans le cadre R18 de la notice justificative 5/8.*

Compléter le tableau en indiquant par une croix, pour chaque pièce citée, le procédé d'obtention de brut, et la famille de matériaux retenus.

C.2.5. Associations de liaisons cinématiques élémentaires (se reporter à la figure 15 page D7/11)

Dans certains mécanismes, il est judicieux de concevoir des liaisons cinématiques entre différents sous-ensembles en combinant certaines liaisons élémentaires. Ces liaisons peuvent être caractérisées selon plusieurs critères et modélisées à plusieurs niveaux, comme pour l'exemple traité figure 15.

Certaines de ces combinaisons de liaisons élémentaires permettent de réaliser des liaisons linéiques ou ponctuelles par l'intermédiaire de contacts surfaciques.

Q19 *Inscrire votre réponse dans le cadre R19 de la notice justificative 6/8.*

Compléter le tableau caractérisant trois combinaisons de liaisons cinématiques.

Q20 *Inscrire votre réponse dans le cadre R20 de la notice justificative 6/8.*

Quel est le principal intérêt de réaliser des liaisons linéiques ou ponctuelles par l'intermédiaire de contacts surfaciques ?

Les solutions évoquées dans le tableau du cadre R19 pourront guider le candidat dans ses choix pour la partie C.3.
--

C.2.6. Etude du verrou hydraulique (se reporter aux figures 16, 17, 18 et 19 page D8/11)

Éléments constitutifs du verrou hydraulique et fonctions associées :

Le piston de verrou hydraulique **14** est en liaison complète avec la crémaillère de commande **3** grâce à la douille de serrage **18**. L'ensemble {**15**, **16**, **16_s**, **17_i**, **17_s**}, intégré au piston **14**, permet de maintenir celui-ci dans une position donnée, ainsi que de l'autoriser à se déplacer verticalement. Cette position influe sur le taux de compression du moteur.

Le pilotage de ce déplacement est assuré par le déplacement vertical de la tige de commande **15**, actionnée par un système électromécanique non représenté et non étudié.

Le clapet d'alimentation **19** permet de maintenir une pression minimale dans le verrou hydraulique.

Le clapet de sécurité {**20**, **23**} (non représenté sur la figure 16 page D8/11) permet de limiter la différence de pression entre les deux chambres du verrou.

Principe de fonctionnement (se reporter aux figures 16, 17 et 18 page D8/11) :

Les chambres inférieure et supérieure du verrou hydraulique sont remplies d'huile. Par l'intermédiaire du clapet d'alimentation **19**, la pompe à huile du moteur (non représentée), assure une pression minimale dans ces deux chambres.

La crémaillère de commande **3** est soumise à l'effort de la roue dentée **4** dont la composante verticale $F_{y4/3}$ est variable en sens et en intensité (voir figure 18 page D8/11).

Sans déplacement de la tige de commande **15**, la crémaillère **3** est verrouillée hydrauliquement. En effet, quand la composante $F_{y4/3}$ est positive, la pression dans la chambre supérieure augmente et plaque le clapet **16_s** supérieur contre le piston **14**. La crémaillère **3** ne peut pas se déplacer positivement. De même, quand la composante $F_{y4/3}$ est négative, la pression dans la chambre inférieure augmente et plaque le clapet **16_i** inférieur contre le piston **14**. La crémaillère **3** ne peut pas se déplacer négativement, sa position est donc verrouillée.

Hypothèses :

Les liaisons sont supposées parfaites (frottements négligés).

Les étanchéités sont parfaites (pas de fuites).

C.2.6.1. - Etude de l'influence du sens de la composante $F_{y4/3}$ sur le déplacement de la crémaillère **3**

Un déplacement vertical positif de 2 mm est imposé à la tige de commande 15 par son dispositif de pilotage. Ce déplacement est représenté sur les documents réponses, **cadre R21 la notice justificative 7/8**.

Q21 Cas où la composante $F_{y4/3}$ est négative - *Inscrire votre réponse dans le cadre R21 de la notice justificative 7/8.*

*Représenter le clapet **16_s** supérieur et son ressort de rappel **17_s**, le clapet **16_i** inférieur et son ressort de rappel **17_i**. Représenter par des flèches une éventuelle circulation d'huile.*

*La crémaillère **3** est-elle immobile ? Se déplace-t-elle positivement ? Négativement ?*

Q22 Cas où la composante $F_{Y4/3}$ est positive - Inscrire votre réponse dans le cadre R22 de la notice justificative 7/8.

Représenter le clapet 16_s supérieur et son ressort de rappel 17_s, le clapet 16_i inférieur et son ressort de rappel 17_i. Représenter par des flèches une éventuelle circulation d'huile.

La crémaillère 3 est-elle immobile ? Ce déplace-t-elle positivement ? Négativement ?

Q23 - Inscrire votre réponse dans le cadre R23 de la notice justificative 7/8.

Par déduction, compléter les cases non-grisées du tableau indiquant les mouvements de la crémaillère 3 en fonction du sens du déplacement de la tige de commande 15, du sens de la composante verticale $F_{Y4/3}$, et de l'état des clapets 16_i et 16_s.

C.2.6.2. - Etude de l'influence de l'intensité de la composante $F_{Y4/3}$ sur le déplacement de la crémaillère 3

Conditions de l'étude :

La position de l'étude est celle où la tige de commande 15 est déplacée positivement ;

Afin de déterminer l'intensité de la composante $F_{Y4/3}$ nécessaire à l'ouverture du clapet inférieur 16_i, l'étude est faite à l'instant de l'ouverture de ce clapet ($F_{Y14/16} = 0$).

Données : (se reporter à la figure 19 page D8/11)

Les caractéristiques des ressorts 17_i et 17_s sont les suivantes : raideur $k = 0,2 \text{ N/mm}$; longueur libre $l_0 = 40 \text{ mm}$; longueur dans la phase étudiée $l_m = 15 \text{ mm}$;

Diamètre du piston de verrou hydraulique 14 : $D_p = 65 \text{ mm}$;

Diamètre de la tige de la crémaillère 3 : $D_{tv} = 24 \text{ mm}$;

Diamètre des clapets 16_i et 16_s : $D_{cl} = 13,5 \text{ mm}$;

Diamètre de guidage de la tige de commande 15 : $D_{gtc} = 5 \text{ mm}$.

Notation :

On notera $\Delta p = (p_i - p_s)$ la différence entre la pression de la chambre inférieure du vérin et celle de la chambre supérieure ;

On notera F_r l'effort exercé par un ressort 17 sur un clapet 16 ;

Valeurs approchées :

Afin de simplifier les calculs, pour les applications numériques, on prendra $65^2 = 4225$; $24^2 \approx 575$; $13,5^2 \approx 175$.

Q24 - Inscrire votre réponse dans le cadre R24 de la notice justificative 8/8.

Etudier l'équilibre du clapet inférieur 16_i, et en déduire l'expression de Δp en fonction de F_r , et des différentes dimensions ;

Après avoir étudié l'équilibre du piston du verrou hydraulique 14, déduire l'expression de Δp en fonction de $F_{Y4/3}$, et des différentes dimensions ;

En déduire l'expression de $F_{Y4/3}$ en fonction de F_r ;

**Calculer la valeur de F_r dans la position de l'étude ;
Donner une valeur approchée de l'intensité de la composante $F_{Y4/3}$ permettant d'ouvrir le clapet inférieur 16_i.**

C.2.6.3. - Etude de l'influence de l'intensité et du sens de la composante $F_{Y4/3}$ sur le déplacement de la crémaillère 3

La **figure 18 page D8/11** décrit l'évolution de la valeur de $F_{Y4/3}$ en fonction de l'angle de rotation de vilebrequin dans certaines conditions de fonctionnement du moteur.

Q25 - Inscrire votre réponse dans le **cadre R25 de la notice justificative 8/8**.

On souhaite augmenter le « taux de compression » du moteur. **Préciser le sens de déplacement de la tige de commande à imposer et la(les) plage(s) de valeurs de l'angle de rotation du vilebrequin pendant laquelle cette variation est possible.**

C.3 - Dessin d'étude de construction mécanique

C.3.1. Présentation du support de travail

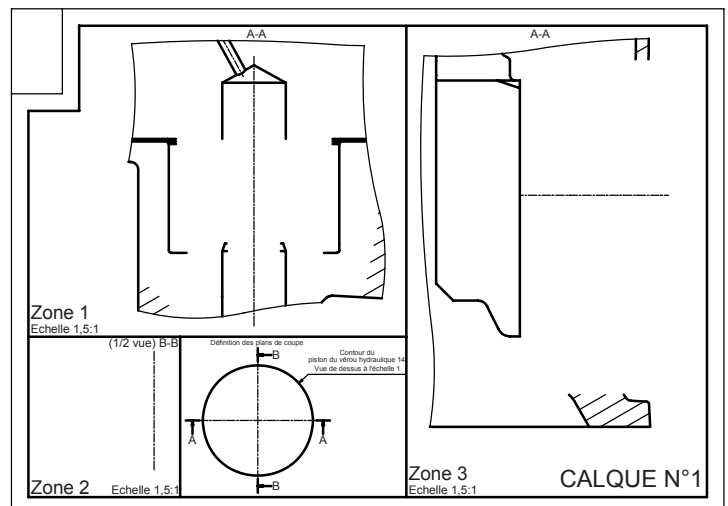
Pour cette partie de l'étude, il est demandé de définir plusieurs sous-ensembles du mécanisme sur le calque format A3 fourni avec le sujet. Ces sous-ensembles sont situés dans les deux zones à définir identifiées sur le dessin d'ensemble, **figure 5, document D2/11**. Les éléments pré imprimés sur le calque sont destinés à faciliter la mise en place des différents composants.

Les plans de coupe A-A et B-B sont définis sur le calque.

- La **zone 1 du calque n°1 de format A3 horizontal, pré imprimé, fourni avec le sujet**, est destinée à l'étude du verrou hydraulique. Les éléments fournis pré imprimés à l'échelle **1,5:1** sont définis en vue coupe A-A.

Plus précisément, le candidat trouvera, en coupe AA :

- des éléments du bloc moteur **10**, et notamment l'alésage cylindrique permettant le guidage du piston de verrou hydraulique **14** ;
- des éléments de la culasse **8**, et notamment l'alésage cylindrique permettant le passage de la douille de serrage **18** ;
- des éléments de l'extrémité de la crémaillère de commande **3**.



- La **zone 2 du calque n°1** est destinée à l'étude du clapet de sécurité du verrou hydraulique. Les éléments fournis pré imprimés à l'échelle **1,5:1** sont définis en 1/2 vue coupe B-B.

Le candidat trouvera l'axe du piston de verrou hydraulique **14**

- La **zone 3 du calque n°1** est destinée à l'étude de la liaison entre la crémaillère de commande **3** et le bloc moteur **10**. Les éléments fournis pré imprimés à l'**échelle 1,5:1** sont définis en vue en coupe A-A. Plus précisément, le candidat trouvera des éléments de la crémaillère de commande **3** et du bloc moteur **10**, ainsi que l'axe horizontal de la liaison ponctuelle entre le bloc moteur **10** et la crémaillère de commande **3**.

C.3.2. Consignes spécifiques aux travaux graphiques

Les dessins sont à exécuter à l'**échelle 1,5:1**, aux instruments, avec pour l'essentiel mise au net au crayon respectant les épaisseurs de traits normalisées et les exigences d'une bonne lisibilité ; seuls les axes et les écritures seront tracés à l'encre noire. Les tracés de couleur ne sont pas admis. Les normes AFNOR seront respectées.

Les principales conditions fonctionnelles relatives aux liaisons représentées seront clairement indiquées en respectant les règles normalisées AFNOR.

Les éléments normalisés utilisés par le candidat autres que ceux fournis dans le sujet, seront dessinés approximativement en respectant au mieux leurs proportions.

C.3.3. Reconception du verrou de crémaillère (se reporter à la **figure 16 page D8/11**) .

Dans la solution actuelle, l'alimentation hydraulique du verrou hydraulique est placée latéralement. Le fluide sous pression traverse le clapet d'alimentation **19** et alimente les chambres supérieure et inférieure du verrou hydraulique par l'intermédiaire des clapets **16_i** et **16_s**. Cette solution impose la présence de deux joints d'étanchéité entre le piston **14** et le bloc moteur **10**. Le piston **14** est également équipé d'un clapet de sécurité unidirectionnel à bille {**20**, **23**} permettant de limiter la différence de pression entre la chambre supérieure et la chambre inférieure.

Afin d'optimiser le circuit d'alimentation, le constructeur souhaite implanter le clapet d'alimentation **19** à l'intérieur de la douille de serrage **18** . Cette configuration permet également de supprimer un des deux joints cités précédemment. Le clapet de sécurité {**20**, **23**} inclus dans le piston est maintenu.

Données (se reporter à la **figure 20 page D9/11** et documents constructeurs page **D10/11** et **D11/11**) :

Les pièces suivantes ne doivent pas être modifiées. Elles sont dessinées sur la **figure 20 page D9/11** :

- extrémité de la crémaillère de commande **3** ;
- tige, clapets et ressorts de commande **15**, **16_i**, **16_s**, **17_i**, **17_s**
- clapet de sécurité {**20**, **23**}.

Le clapet d'alimentation **19** est défini **figure 20 page D9/11** ;

Les joints d'étanchéité pourront être définis grâce aux indications des pages **D10/11** et **D11/11**.

Précisions sur les fonctions de certaines pièces :

Le piston **14** a pour principales fonctions :

- assurer une partie du guidage de la crémaillère **3** grâce à une liaison sphère cylindre avec le bloc moteur **10** ;

- assurer l'étanchéité entre les deux chambres du verrou ;
- intégrer le dispositif de verrouillage {**15**, **16**_i, **16**_s, **17**_i, **17**_s};
- intégrer le clapet de sécurité {**20**, **23**}.

La douille de serrage **18** a pour principales fonctions :

- assurer la liaison complète démontable entre le piston **14** et la crémaillère **3** ;
- permettre l'alimentation hydraulique des chambres du verrou en intégrant le clapet d'alimentation **19**.

Position de représentation :

Le mécanisme sera dessiné dans la position suivante :

- crémaillère de réglage en position basse ;
- tous les clapets fermés.

Travail demandé :

Dessiner aux instruments, sur les différentes vues prédéfinies **du calque n°1**, vos propositions de solutions pour répondre aux modifications demandées par le constructeur.

Dans la **zone 1 du calque n°1 de format A3 horizontal**, sur la vue en coupe AA, représenter :

- le dispositif de verrouillage {**15**, **16**_i, **16**_s, **17**_i, **17**_s};
- le piston **14**, la douille de serrage **18** et le clapet d'alimentation **19** intégré;
- les dispositifs d'étanchéité ;
- et toute nouvelle pièce nécessaire au bon fonctionnement de l'ensemble.

Dans la **zone 2 du calque n°1 de format A3 horizontal**, sur la ½ vue en coupe BB, représenter uniquement le piston **14** et le clapet de sécurité {**20**, **23**}.

C.3.4. Conception d'une liaison ponctuelle (se reporter à la figure 5 page D2/11 et à la figure 6 page D3/11) .

Sur la **figure 6 page D3/11**, on constate l'existence d'une liaison sphère-plan (ponctuelle) entre le bloc moteur **10** et la crémaillère de commande **3**.

Sur le dessin d'ensemble (**figure 5 page D2/11**), la solution technologique, modélisée par cette liaison sphère-plan, n'est pas définie. On demande de concevoir cette liaison ponctuelle de normale \vec{n} .

Expression du besoin :

Etant donnée l'importance des efforts mis en jeux, la liaison ponctuelle (sphère-plan) devra être réalisée par association de contacts surfaciques. (Voir les questions **Q19 et Q20 page T11/17**). La surface minimale de contact (projetée dans un plan orthogonal à \vec{n}) doit être de 7 cm² au minimum soit un disque de 3 cm de diamètre environ.

Les surfaces de contact frottantes seront lubrifiées par l'huile moteur. Une étanchéité par rapport à l'extérieur du bloc moteur est à prévoir.

La position de cette liaison doit être réglable selon la normale \vec{n} afin de permettre de précontraindre radialement la crémaillère de commande **3**, la roue dentée **4**, la crémaillère de piston **5**, et le rouleau synchroniseur **6**.

Un dispositif doit permettre un maintien en position du système de réglage.

Les formes de la crémaillère de commande **3** peuvent être adaptées aux solutions retenues.

Travail demandé :

Dessiner aux instruments, dans la **zone 3 du calque n°1 de format A3 horizontal** sur la vue prédéfinie en coupe A-A, vos propositions de solutions pour répondre aux besoins exprimés ci-dessus.

TABLEAU RECAPITULATIF DE DONNEES ET DES NOTATIONS PRINCIPALES DU SUJETS :

Désignation	Notation	Valeurs
Point Mort Haut	PMH	
Point Mort Bas	PMB	
Cylindrée unitaire	Cyl_{unit}	
Cylindrée du moteur	Cyl_{mot}	
Diamètre des pistons 7	D_{p7}	75 mm
Puissance maxi		160 kW
Couple maxi		300 Nm
Taux de compression	T	de 7 / 1 à 18 / 1
Taux de compression maximum	T_{max}	18
Taux de compression minimum	T_{min}	
Longueur de manivelle	AB	21 mm
Longueur de la bielle	BC	88,75 mm
Rayon primitif de la roue 4	CD = DE	50 mm
Course du piston	C_p	
Action du gaz de combustion sur le piston 7	$\vec{F}_{gaz/7}$	
Couple extérieur résistant sur le vilebrequin 1	$\vec{C}_{Ext/1}$	
Raideur des ressorts 17_i et 17_s	k	0,2 N/mm
Longueur libre des ressorts 17_i et 17_s	l_0	40 mm
Longueur des ressorts 17_i et 17_s dans la phase étudiée	l_m	15 mm
Diamètre du piston de verrou hydraulique 14 :	D_p	65 mm
Diamètre de la tige de la crémaillère 3	D_{tv}	24 mm
Diamètre des clapets 16_i et 16_s :	D_{cl}	13,5 mm
Diamètre de guidage de la tige de commande 15	D_{gtc}	5 mm
Pression de la chambre inférieure	P_i	
Pression de la chambre supérieure	P_s	
Effort exercé par un ressort 17 sur un clapet 16	F_r	

