

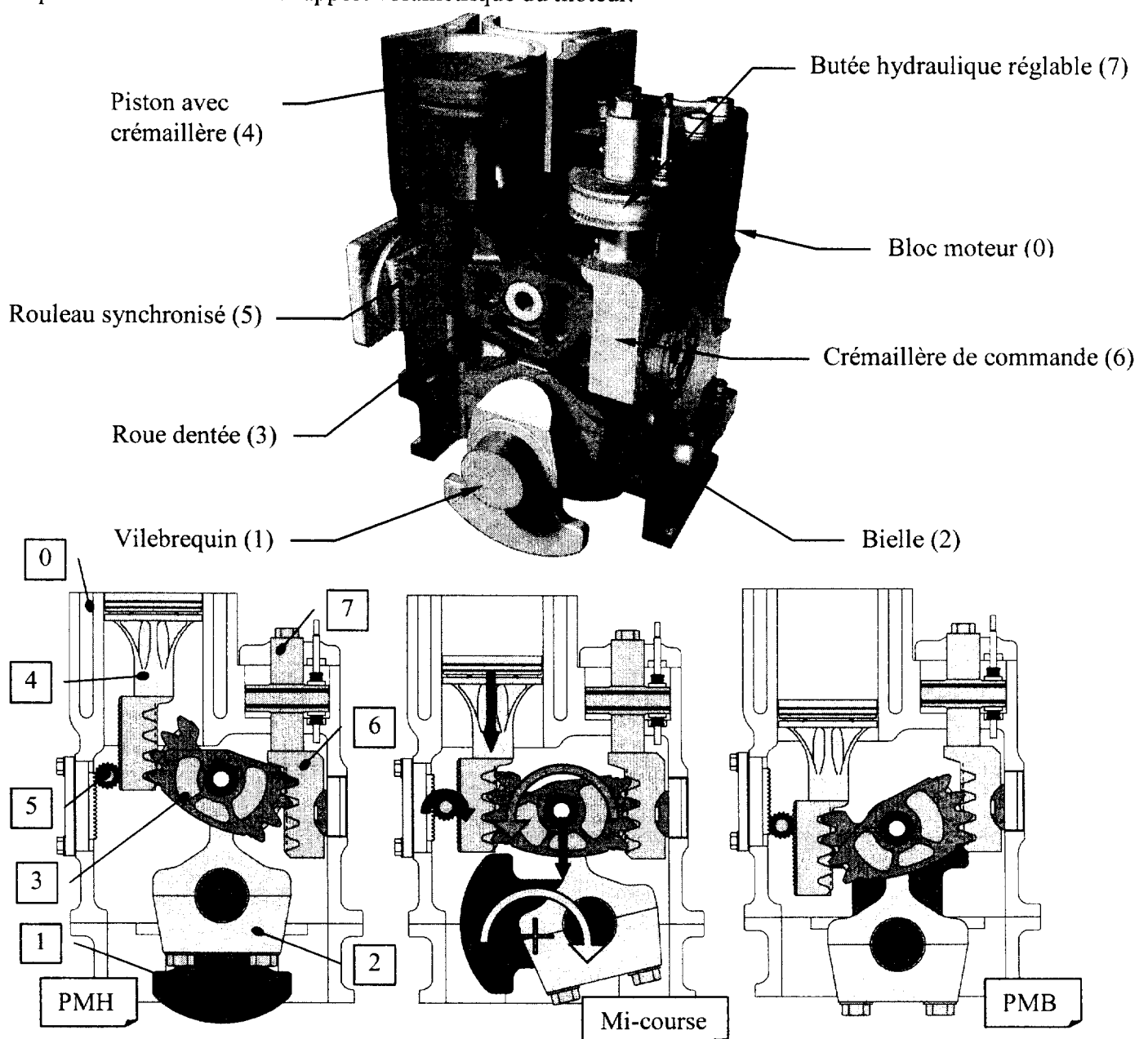
Partie B : Étude mécanique

OBJECTIFS

On souhaite vérifier les caractéristiques mécaniques du moteur MCE-5, afin de comparer ses performances et ses particularités à d'autres solutions de moteurs à rapport volumétrique variable.

PRÉSENTATION DU MOTEUR MCE-5 (suivre sur les figures ci-dessous) :

- La bielle (2) n'est pas liée directement au piston avec crémaillère (4).
- Le piston avec crémaillère (4) met en mouvement une roue dentée (3).
- Cette roue dentée (3) roule alors sur la crémaillère de commande (6) et entraîne la bielle (2) par sa liaison pivot.
- La bielle (2) entraîne le vilebrequin (1).
- La position de la crémaillère de commande (6), déterminée par une butée hydraulique réglable (7) permet de faire varier le rapport volumétrique du moteur.



CARACTÉRISTIQUES DU MOTEUR MCE-5 :

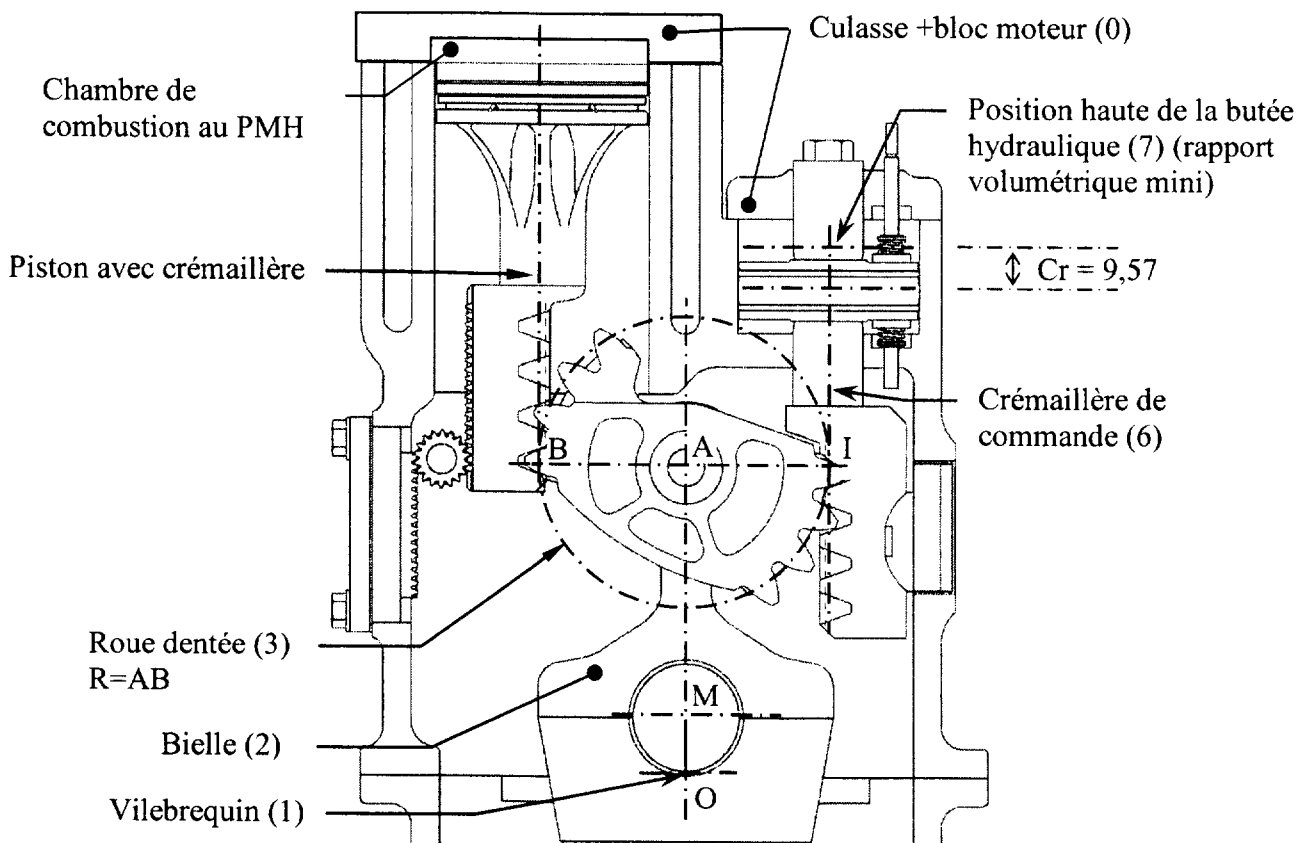
- 4 cylindres en ligne.
- Course des pistons : $C = 84 \text{ mm}$.
- Diamètre des cylindres : $D = 75 \text{ mm}$.
- Puissance maxi : $P_{\text{max}} = 160 \text{ kW}$ à 5500 tr/min .
- Couple maxi : $C_{\text{max}} = 300 \text{ N.m}$ à 2000 tr/min .
- Vitesse maxi : $N_{\text{max}} = 7000 \text{ tr/min}$.

TRAVAIL DEMANDÉ (sauf indication contraire, le travail se fait sur feuille de copie) :

1 Étude des rapports volumétriques mini et maxi

1.1 Calculer la cylindrée unitaire V_U en cm^3 du moteur MCE-5 puis la cylindrée totale V_T en cm^3 .

On donne ci dessous le dessin du moteur MCE-5 en position PMH. La butée hydraulique réglée en position rapport volumétrique maxi.



1.2 Sur le document réponse *DR1*, page B8 schéma du haut, tracer en bleu la position du piston avec crémaillère au PMH lorsque la butée hydraulique est réglée en position rapport volumétrique mini.

On donne le volume de la chambre de combustion au PMH à rapport volumétrique maxi $V_H = 19,5 \text{ cm}^3$ et la course de réglage $Cr = 9,57 \text{ mm}$.

Calculer en cm^3 V_H le volume de la chambre de combustion au PMH à rapport volumétrique mini. Reporter le résultat sur le *document réponse DR1*.

1.3 Sur le document réponse DRI, page B8/B9 schéma du bas, tracer en bleu la position du piston avec crémaillère au PMB lorsque la butée hydraulique est réglée en position rapport volumétrique mini.

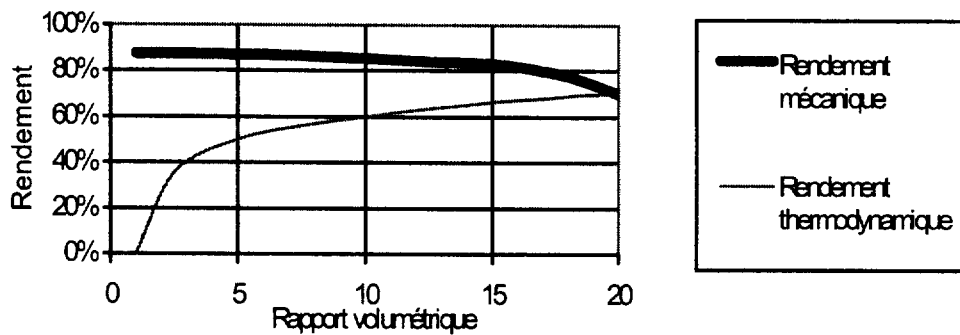
Calculer en $\text{cm}^3 V_B$ le volume de la chambre au PMB à rapport volumétrique maxi puis mini. Reporter les résultats sur le document réponse DRI.

On définit le rapport volumétrique comme étant le rapport entre le volume de la chambre au PMB et le volume de la chambre de combustion au PMH : $\epsilon = V_B/V_H$.

1.4 Calculer les rapports volumétriques ϵ_{mini} et ϵ_{maxi} du moteur MCE-5.

1.5 Les valeurs ϵ_{mini} et ϵ_{maxi} calculées en 1.4 sont des limites relatives à la construction mécanique du système.

À partir des courbes suivantes, quelles sont les valeurs extrêmes de ϵ qu'il est plus judicieux de prendre ? Justifier.



1.6 Entre les deux réglages extrêmes du rapport volumétrique, y a-t-il variation de la cylindrée du moteur ? Pourquoi ?

2 Étude de la butée hydraulique réglable (7)

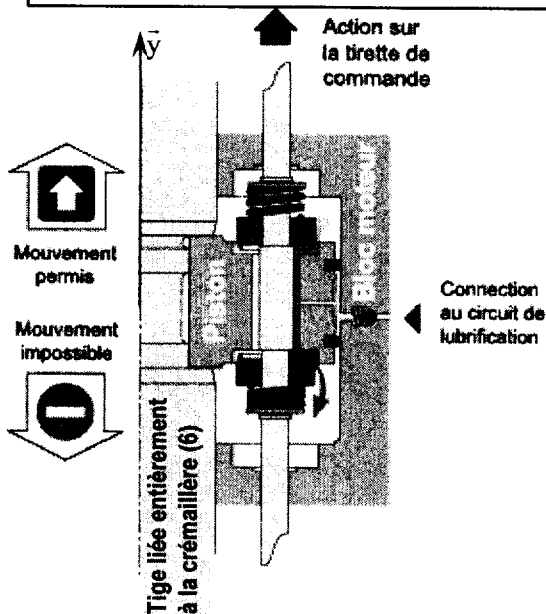
Phase : blocage hydraulique

Il faut distinguer deux phases :

- Déplacement de la crémaillère de commande (6).
- Butée hydraulique.

Sur cette figure, les deux soupapes sont fermées. Les chambres supérieure et inférieure étant remplies d'huile, il y a blocage hydraulique : le piston ne peut pas se déplacer et la crémaillère de commande (6) est fixe.

Phase : déplacement de la crémaillère de commande (6)

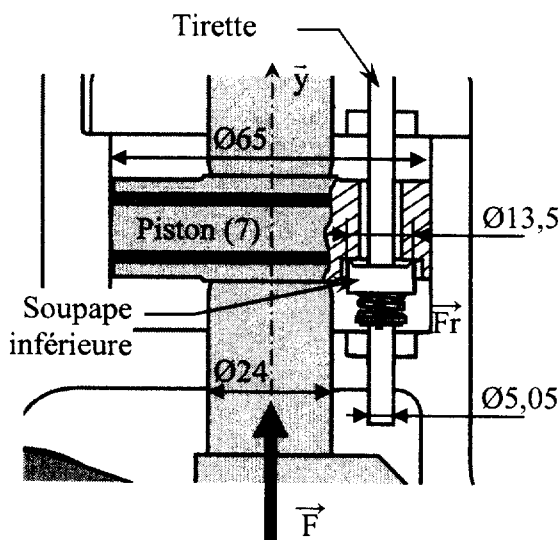


Sur cette figure, une action sur la tirette de commande a permis l'ouverture de la soupape supérieure ; la soupape inférieure restant fermée.

Par l'action de la roue dentée (3), la crémaillère de commande (6) soumet le piston à un effort \vec{F} , variable en intensité et sens :

- Si $\vec{F} = -F\vec{y}$ il ne se passe rien.
- Si $\vec{F} = +F\vec{y}$ l'huile passe de la chambre supérieure vers la chambre inférieure, permettant au piston (donc à la crémaillère de commande (6)) de se déplacer et d'ouvrir la soupape inférieure.

Modélisation du problème :



Le système est étudié dans le cas décrit ci-dessus, c'est-à-dire tirette soulevée et donc soupape supérieure ouverte. Pour éviter les erreurs, cette soupape n'a pas été représentée sur le dessin ci-contre.

La soupape inférieure est maintenue plaquée sur son siège par un ressort qui exerce une action telle que : $\|\vec{F}_r\| = 5 \text{ N}$.

La chambre supérieure est soumise à la pression p_s et la chambre inférieure à la pression p_i .

La surface du piston sur laquelle s'applique la pression sera notée S_p , celle de la soupape sera notée S_v .

La crémaillère de commande (6) exerce un effort \vec{F} , variable en intensité et sens, sur le piston (7).

On se place à l'instant de l'ouverture de la soupape inférieure.

L'action du piston sur la soupape est donc nulle.

2.1 Étudier l'équilibre de la soupape inférieure et déterminer l'expression de $\Delta P = (p_i - p_s)$ en fonction de $\|\vec{F}_r\|$ et de S_v .

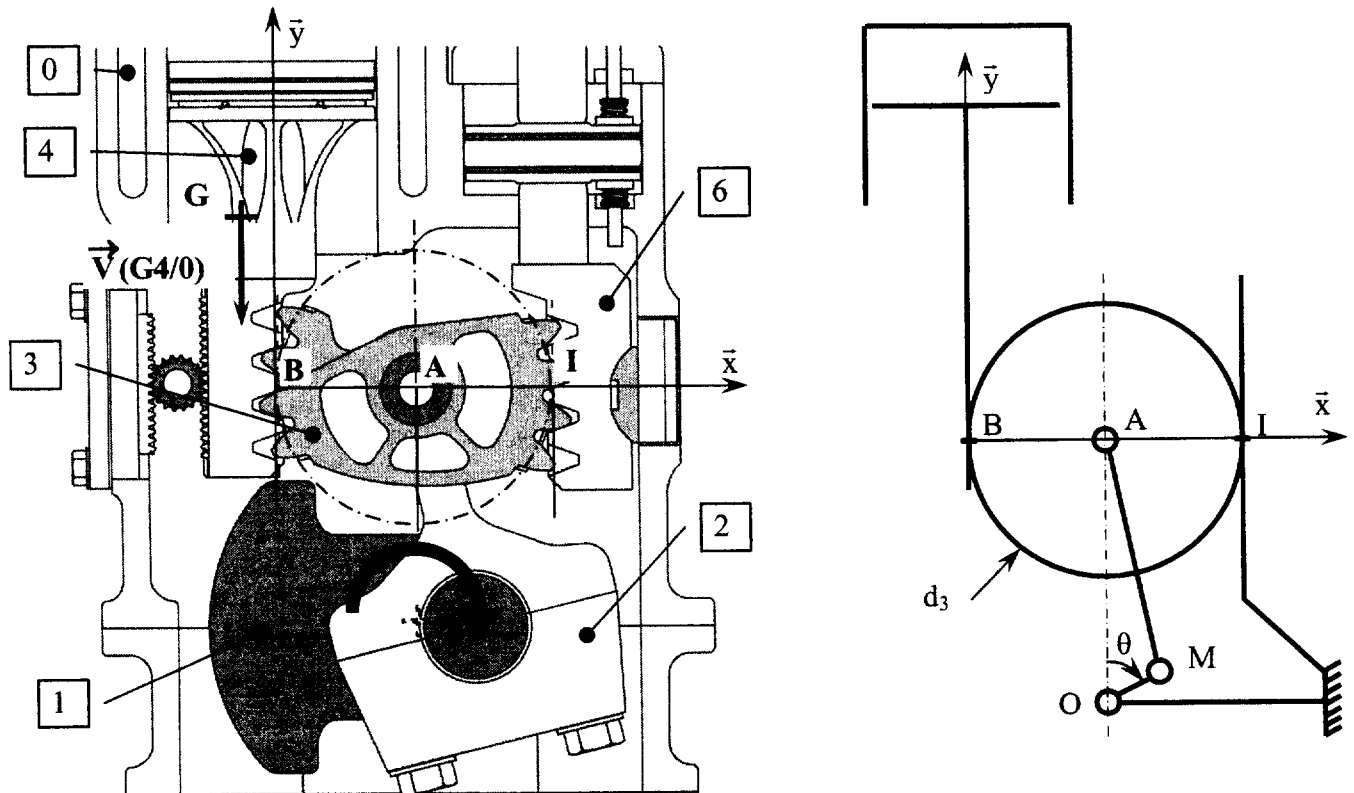
2.2 Étudier l'équilibre du piston (7) et déterminer l'expression de $\Delta P = (p_i - p_s)$ en fonction de $\|\vec{F}\|$ et de S_p .

2.3 En déduire la valeur de $\|\vec{F}\|$ nécessaire pour ouvrir la soupape inférieure et débiter le mouvement de la butée vers le haut.

On donne *document réponse DR2* page B9/B9 la courbe montrant l'évolution de l'effort $\|\vec{F}\|$ appliqué par la roue dentée (3) sur la crémaillère de commande (6).

2.4 Tracer la valeur de $\|\vec{F}\|$ trouvée en 2.3 sur le *document réponse DR2* et établir le diagramme montrant les phases de déplacement ou d'arrêt de la crémaillère de commande (6) sur un cycle moteur.

3 Étude de la cinématique du moteur.



L'objectif de cette étude de cinématique est de comparer le comportement cinématique du moteur MCE-5 avec celui d'un moteur classique.

Pendant cette étude la butée hydraulique réglable (7) et sa crémaillère de commande (6) sont fixes, et sont donc cinématiquement équivalentes au solide (0).

On donne :

- $\vec{V}(G_{4/0}) = -v \cdot \vec{y}$: vitesse du centre de gravité du piston avec crémaillère (4)
- $d_3 = 50 \text{ mm}$: diamètre primitif de la roue dentée (3)
- $\vec{\Omega}_{3/0} = \omega_{3/0} \cdot \vec{z}$: vecteur rotation de 3/0

On rappelle : $\vec{V}(A_{3/0}) = \vec{V}(B_{3/0}) + \vec{AB} \wedge \vec{\Omega}_{3/0}$

3.1 Donner la nature des mouvements de : 4/0 ; 3/2 ; 3/4 ; 3/0.

3.2 En déduire $\vec{V}(B_{4/0})$.

3.3 Déterminer $\vec{V}(A_{3/0})$ en fonction de v .

La vitesse de rotation ω_{MCE5} du vilebrequin (1) en fonction de la vitesse du point A et de la position angulaire θ du vilebrequin s'exprime par :

$$\omega_{MCE5} = \frac{\|\vec{V}(A \in 3/0)\|}{R \cdot (\sin\theta + \frac{R}{2L} \cdot \sin 2\theta)} \quad \text{avec.} \quad \left\{ \begin{array}{l} R = 21 \text{ mm : rayon de la manivelle du vilebrequin} \\ L = 88,75 \text{ mm : longueur de la bielle (2)} \end{array} \right.$$

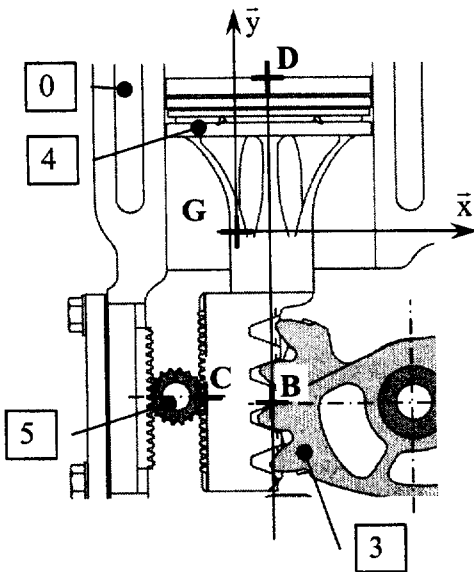
Sur un moteur classique de même cylindrée la vitesse de rotation $\omega_{classique}$ du vilebrequin en fonction de la vitesse v du piston et de la position angulaire θ du vilebrequin s'exprime par :

$$\omega_{classique} = \frac{v}{R \cdot (\sin\theta + \frac{R}{2L} \cdot \sin 2\theta)} \quad \text{avec.} \quad \left\{ \begin{array}{l} R = 42 \text{ mm : rayon de la manivelle} \\ L = 177,5 \text{ mm : longueur de la bielle} \end{array} \right.$$

- 3.4 Déterminer les vitesses de rotation ω_{MCE5} et $\omega_{classique}$ en fonction de v et de θ et les comparer. Conclure quant au comportement cinématique du moteur MCE-5.

4 Étude des efforts radiaux appliqués au piston

L'objectif de cette étude de dynamique est de calculer les efforts radiaux appliqués au piston (4)



$$\text{Données : } \vec{G}\vec{B} \begin{vmatrix} x_E \\ -y_B \\ 0 \end{vmatrix} \quad \vec{G}\vec{C} \begin{vmatrix} -x_C \\ -y_B \\ 0 \end{vmatrix} \quad \vec{G}\vec{D} \begin{vmatrix} x_E \\ y_D \\ 0 \end{vmatrix}$$

hypothèses :

- L'action de la pesanteur est négligée.
- L'inertie du galet (5) est négligée.
- Les liaisons sont considérées parfaites.
- Le problème pourra être traité dans le plan (G, \vec{x}, \vec{y})
- L'action des gaz de combustion sur le piston est donnée par

$$\text{le torseur : } [T_{g/4}]_D = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -F_g & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

- L'action de la roue dentée (3) est donnée par le glisseur : $[T_{3/4}]_B = \begin{Bmatrix} -B \sin \alpha & 0 \\ B \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$

$\alpha = 20^\circ$: angle de pression pour le couple roue dentée (3) piston avec crémaillère (4).

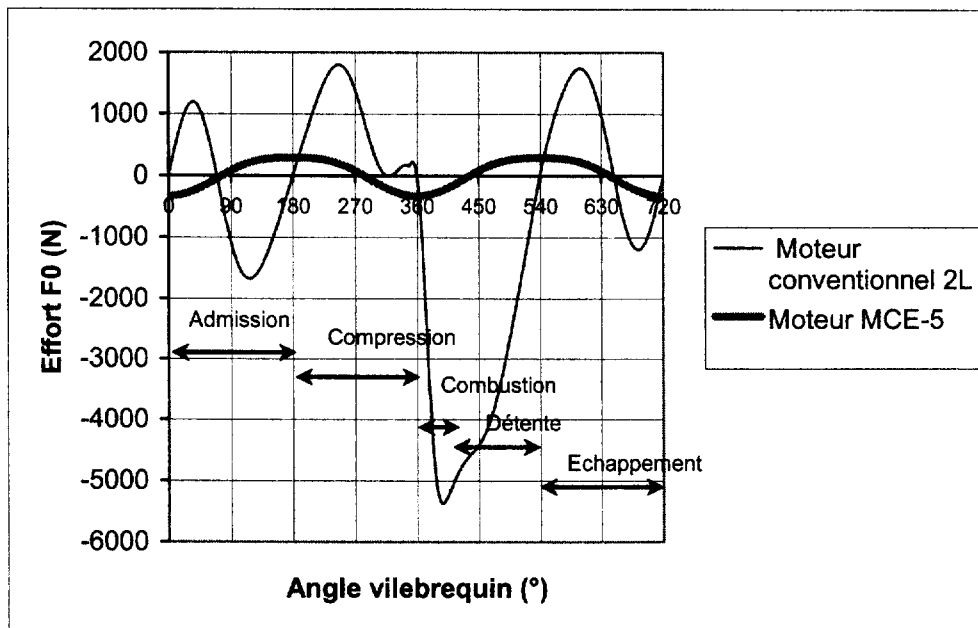
- 4.1 Appliquer le principe fondamental de la dynamique au rouleau synchronisé (5) et conclure.
4.2 Appliquer le principe fondamental de la dynamique en G au piston avec crémaillère (4).

4.3 Montrer que l'action radiale du cylindre sur le piston F_0 est : $F_0 = \frac{x_E \cdot m \cdot a}{(y_D + y_B)}$

F_0 est fonction de :

- x_E : le déport du centre de gravité du piston avec crémaillère par rapport à l'axe du piston.
- $y_D + y_B = y$: la distance verticale entre le point D et le point d'engrènement de la roue dentée avec la crémaillère, cette distance varie tout au long de la course du piston.

Une étude numérique a permis de tracer la courbe suivante montrant la variation de l'effort radial F_0 sur deux tours de moteur et permet de comparer cet effort pour le moteur MCE-5 à un moteur conventionnel.



4.4 En comparant les deux courbes, quel est l'avantage apporté par le moteur MCE-5 ?
Qu'est-ce que cela implique ?

4.5 En comparant les deux courbes, de quelle phase du cycle dépend surtout F_0 sur un moteur conventionnel et ne dépend quasiment pas sur le moteur MCE-5 ?

4.6 Que pourrait faire le constructeur du MCE-5 pour rendre F_0 nul ?